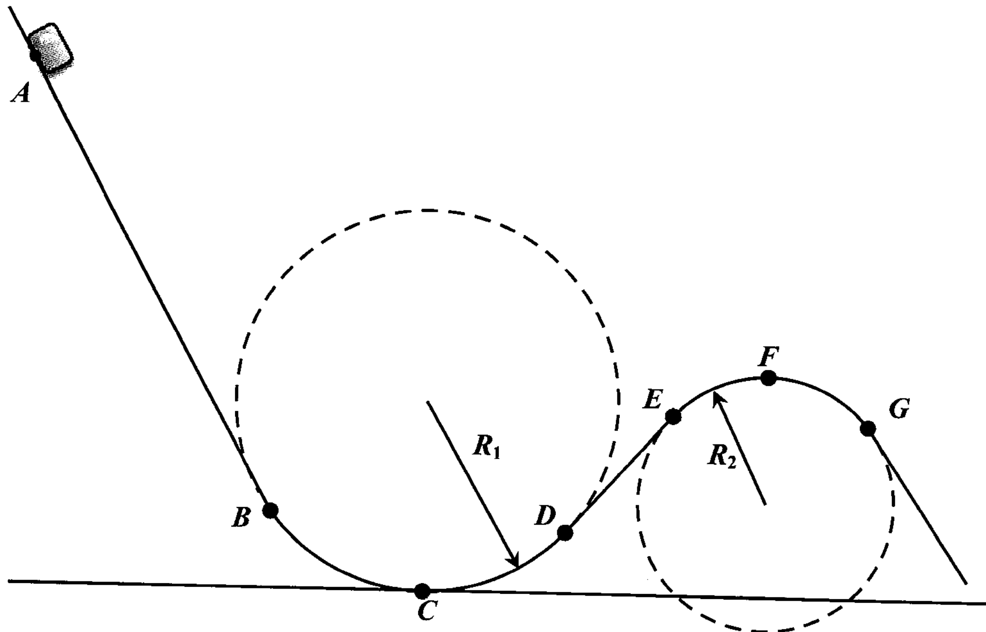
פרק 6 – שאלות בתנועה מעגלית

שאלה 1\פרק 6

בתרשים שלפניך מוצג מסלול $ABCDEFG$ חלק. הקטע BCD של המסלול הוא קשת של מעגל שרדיוסו $R_1 = 80\,\text{cm}$, והקטע EFG של המסלול הוא קשת של מעגל שרדיוסו $R_2 = 40\,\text{cm}$. גובה הנקודה F מעל פני הקרקע הוא $h_F = 50\,\text{cm}$.

משחררים, ממנוחה, גוף שמסתו m מנקודה A הנמצאת בגובה h_A מהקרקע.



א. בטא את הכוח הנורמלי (N_F) הפועל על הגוף בעוברו בנקודה F באמצעות הגדלים הבאים: מסת הגוף m, רדיוס המסלול R_2 ומהירות הגוף בנקודה זו, v_F.

ב. חשב את גודל המהירות v_F בה הכוח הנורמלי הפועל על הגוף בנקודה F שווה ל- $\frac{3}{4}mg$.

ג. חשב את הגובה של הנקודה A שעבורו מתקיים $N_F = \frac{3}{4}mg$.

ד. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על הגוף בעוברו בנקודה C, כאשר משחררים אותו ממנוחה מהגובה שחישבת בסעיף הקודם.

ה. חשב את הגובה המרבי המותר עבור הנקודה A על מנת שהגוף לא יתנתק מהמסלול.

שאלה 2\פרק 6

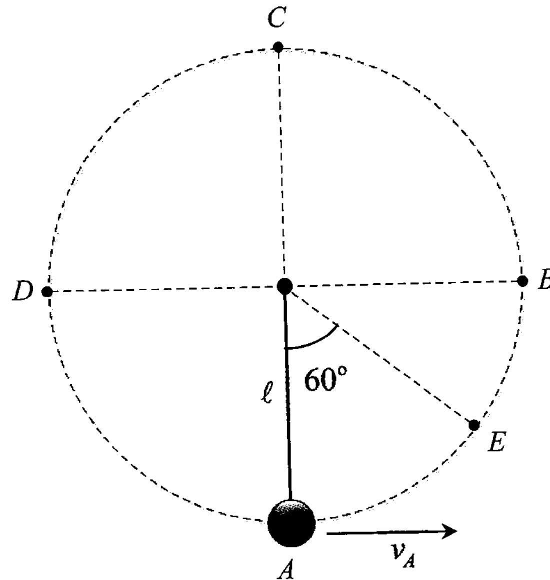
כדור קטן שמסתו $m = 0.2\,\text{kg}$ קשור לקצה חוט שאורכו $\ell = 2\,\text{m}$. הקצה השני של החוט קשור לציר סיבוב (ראה תרשים). בהיותו בנקודה הנמוכה ביותר במסלולו מקנים לכדור מהירות אופקית של $10\,\text{m/s}$, וכתוצאה מכך הכדור מתחיל לנוע במסלול מעגלי אנכי. החיכוך עם האוויר זניח. הנקודות B ו-D נמצאות על הקוטר המקביל לפני הקרקע, והנקודות A ו-C נמצאות על הקוטר המאונך לקרקע. הנקודה E היא נקודה הנמצאת על המסלול שבה הרדיוס יוצר זווית של $60°$ עם האנך (ראה תרשים).

א. חשב את מהירות הכדור בנקודות B, C ו-E.

ב. חשב את תאוצת הכדור (גודל וכיוון) בנקודות B, C ו-E.

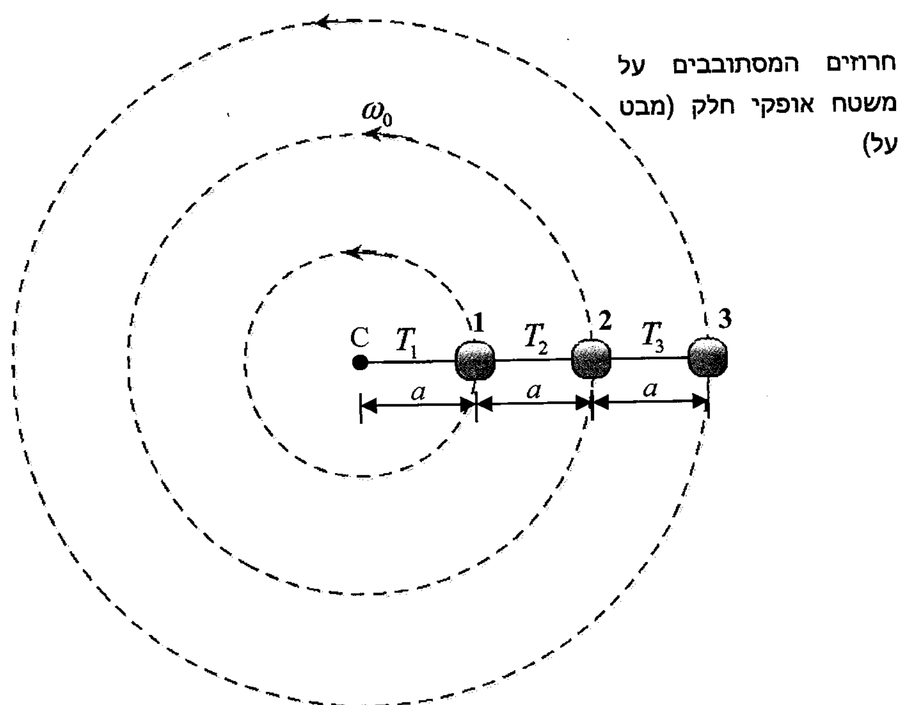
ג. חשב את המתיחות בחוט בנקודות A, B, C ו-E.

ד. הוכח כי המתיחות בחוט בנקודה הנמוכה ביותר במסלול (בנקודה A) גדולה מהמתיחות בחוט בנקודה הגבוהה ביותר (בנקודה C) ב-$6mg$.



שאלה 3\פרק 6

בתרשים המוצג לפניך מתוארים שלושה חרוזים קטנים וזהים קשורים זה לזה באמצעות חוטים שמסתם זניחה. אורך כל אחד מהחוטים הוא a. החוט הפנימי קשור בנקודה קבועה C. החרוזים מונחים על משטח אופקי חלק ומסתובבים סביב הנקודה C במהירות זוויתית זהה ω_0. במהלך תנועתם החרוזים נשארים על אותו קו ישר העובר דרך המרכז C. נתון שמסת כל אחד מחרוזים היא m.



א. סדר את החרוזים לפי המהירויות הקוויות שלהם, מהמהירות הגבוהה ביותר לנמוכה ביותר, וקבע מהו היחס בין מהירויות אלה.

ב. סדר את החרוזים לפי הכוח השקול הפועל על כל אחד מהם, מהכוח השקול הגדול ביותר לקטן ביותר וקבע מהו היחס בין כוחות אלה.

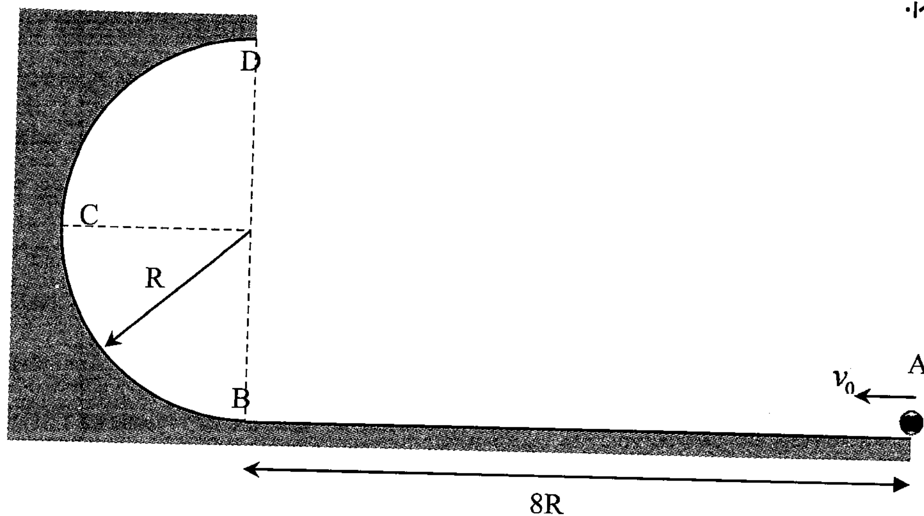
ג. דרג את המתיחויות בחוטים, מהמתיחות הגדולה ביותר להקטנה ביותר, וקבע מהו היחס בין מתיחויות אלה.

נתון $a=10\text{cm}$ ו- $m=0.05\text{kg}$.

ד. חשב את גודל המהירות הזוויתית המקסימלית המותרת על מנת שאף אחד מהחוטים לא יקרע, אם נתון שהמתיחות המקסימלית שכל חוט יכול לשאת היא 3N.

שאלה 4\פרק 6

בתרשים המוצג לפניך מתואר מסלול ישר ואופקי AB המחובר למסלול חצי מעגלי BCD שרדיוסו R ומישורו ניצב לפני הקרקע. מניחים גוף קטן שמסתו m בנקודה A ומקנים לו מהירות התחלתית v_0 לכיוון הנקודה B. נתון שהקטע AB של המסלול איננו חלק, שמרחק הנקודה A מהנקודה B הוא $8R$ ושמקדם החיכוך הקינטי בין הגוף והמשטח בקטע אופקי זה הוא μ_k. כמו כן נתון שהקטע BCD הוא חלק.



א. קבע מהו הערך המינימלי עבור v_0 על מנת שהגוף יוכל להגיע לנקודה B. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: R, g ו- μ_k.

ב. קבע מהו הערך המינימלי עבור v_0 על מנת שהגוף יוכל להגיע לנקודה D. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: R, g ו- μ_k.

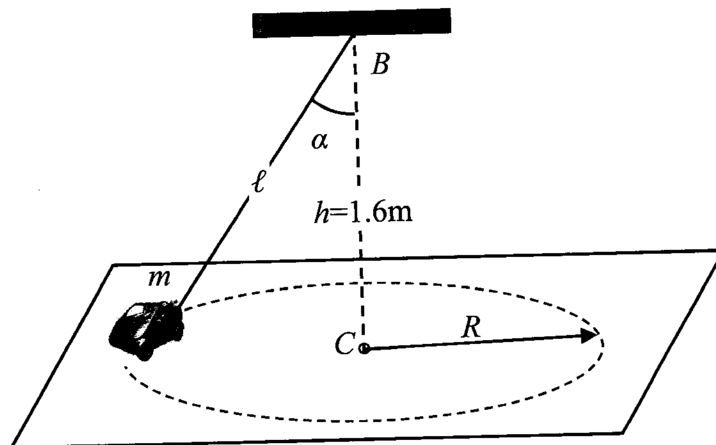
ג. קבע מהו הערך של v_0 שעבורו הגוף, בעוברו בנקודה D, מפעיל על המסלול כוח השווה ל- $3mg$. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: R, g ו- μ_k.

ד. בשני הסעיפים הקודמים (ב' ו-ג') קבע את מיקום הנקודה שבה הגוף פוגע בקטע AB של

המסלול, ביחס לנקודה B, לאחר שהוא עוזב את המסלול החצי מעגלי בנקודה D. בטא את תשובתך באמצעות R.

שאלה 5\פרק 6

מכונית צעצוע שמסתה $m = 600\text{g}$ מונחת על משטח אופקי לא חלק וקשורה לקצה חוט שאורכו $\ell = 2\text{m}$. הקצה השני של החוט קשור לתקרה בנקודה קבועה B הנמצאת בגובה $h = 1.6\text{m}$ מעל המשטח. מפעילים את מנוע המכונית, והיא מתחילה לנוע על המשטח האופקי במהירות קבועה במסלול מעגלי שמרכזו בנקודה C הנמצאת מתחת לנקודה B (ראה תרשים). ניתן לשלוט במהירות המכונית על ידי שלט.



א. קבע מהם הכוחות הפועלים על המכונית במהלך תנועתה. שרטט על גבי התרשים חיצים המייצגים את כיווני הכוחות.

ב. נתון שכאשר מהירות המכונית היא 2m/s המתיחות בחוט היא 2N. חשב את:

1) הכוח הנורמלי שהמשטח מפעיל על המכונית.

2) כוח החיכוך הסטטי הפועל על המכונית בכיוון מרכז הסיבוב.

ג. מגדילים את מהירות המכונית בהדרגה. לגבי כל אחד מהכוחות הבאים ציין אם הוא גדל, קטן או לא משתנה:

1) המתיחות בחוט.

2) הכוח הנורמלי.

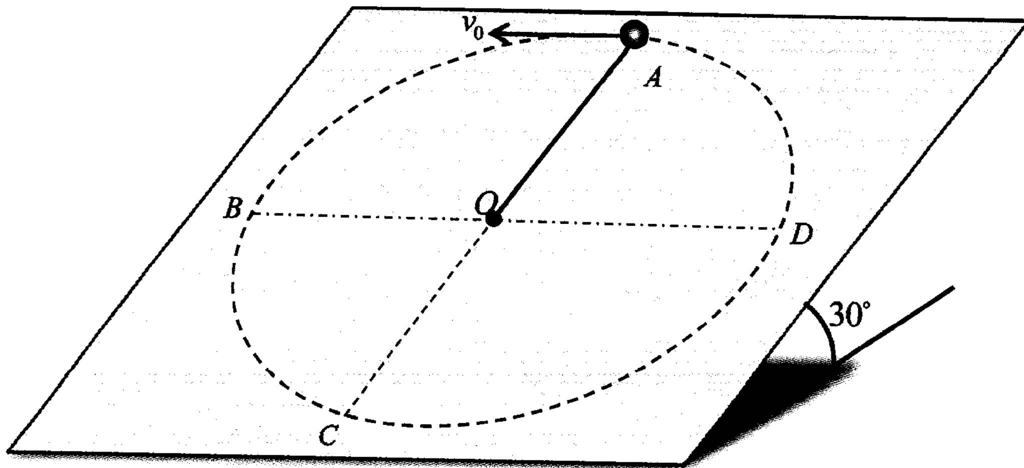
ד. חשב את גודל המהירות המקסימלית בה יכולה המכונית לנוע על מנת שלא תתנתק מהמשטח.

ה. חשב את המתיחות בחוט במקרה של הסעיף הקודם.

שאלה 6\פרק 6

קושרים כדור קטן לקצה חוט שמסתו זניחה, וקושרים את הקצה השני של החוט לציר סיבוב הנמצא על משטח משופע וחלק כפי שמתואר בתרשים שלפניך. מותחים את החוט כך שהכדור נמצא בנקודה הגבוהה ביותר האפשרית על המשטח המשופע (הנקודה A בתרשים), ומקנים לו בנקודה זו מהירות אופקית שגודלה 4m/s. הכדור מתחיל להסתובב במסלול מעגלי על המישור המשופע

(ראה את התרשים).



נתון שמסת הכדור היא $m=100\text{g}$, אורך החוט $\ell=0.4\text{m}$ וזווית השיפוע של המשטח היא $\alpha=30^\circ$.

א. חשב את מהירות הכדור בכל אחת מהנקודות B, C ו-D.

ב. חשב את המתיחות בחוט בכל אחת מהנקודות A, B, C ו-D.

ג. חשב את רכיבי תאוצת הכדור בכיוון המשיק ובכיוון מרכז הסיבוב בכל אחת מהנקודות A, B, C ו-D.

ד. חשב את המהירות המינימלית הנחוצה לכדור בנקודה A על מנת שישלים סיבוב שלם (המהירות הקריטית).

ה. נניח שבין המשטח והכדור קיים חיכוך ושמקדם החיכוך הקניטי הוא 0.2. חשב את גודל המהירות המינימלית שיש להקנות לכדור בנקודה A בכיוון המשיק על מנת שישלים סיבוב שלם.

שאלה 7\פרק 6

בלונה פארק מסוים קיים מתקן שעשועים המורכב מגליל חלול ענק שרדיוסו R וצירו ניצב לפני הקרקע. באמצע הגליל קיים משטח אופקי עליו עומדים אנשים כאשר הגב שלהם צמוד לדופן הפנימית של הגליל. הגליל מתחיל להסתובב, וכשהוא מגיע למהירות סיבוב מספיק גבוהה, המשטח שעליו עומדים האנשים נפתח, והם נשארים צמודים לדופן הגליל ומסתובבים אתו (ראה תרשים א').

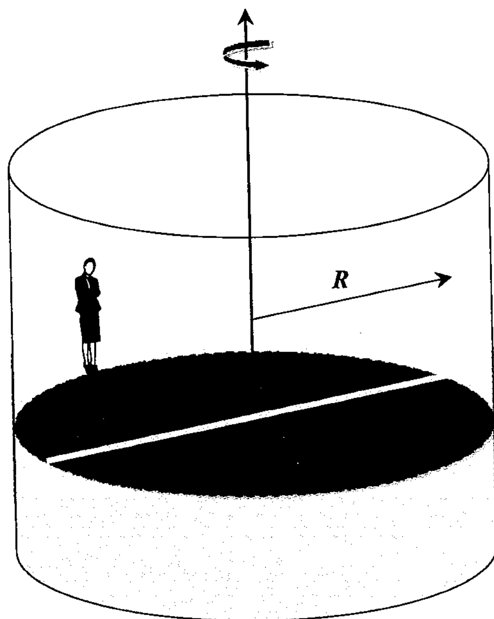
נתון שמקדם החיכוך הסטטי בין הגליל ובין האנשים הוא μ_s.

א. הוסף לתרשים חיצים המתארים את הכוחות הפועלים על אדם הנמצא בתוך הגליל (במנוחה ביחס לגליל) כאשר הגליל מסתובב במהירות זוויתית קבועה (לאחר שהמשטח שעומד עליו האדם נפתח).

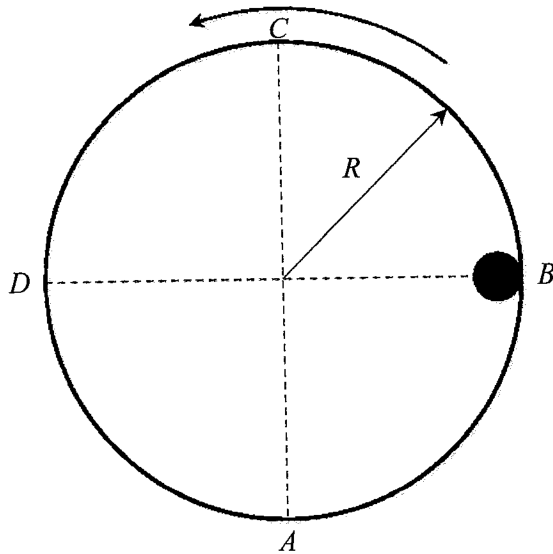
ב. מצא את המהירות הזוויתית המינימלית של הגליל ($\omega_{\min}$) על מנת שהאנשים לא יחליקו בעת סיבובו. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: R ו-μ_s.

ג. מגדילים את המהירות הזוויתית של הגליל פי שניים מהמהירות המינימלית שחישבת בסעיף הקודם ($\omega = 2\omega_{\min}$). מצא את הכוחות הפועלים על אדם שמסתו m הנמצא בתוך הגליל בעת סיבובו. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: m, ו- μ_s.

ד. נתון כעת שציר הגליל הוא אופקי, והגליל מסתובב סביבו במהירות זווית קבועה כפי שמתואר בתרשים ב'. מצא את המהירות הזוויתית המינימלית של הגליל על מנת שהאנשים לא יפלו, ואת המהירות הזוויתית המינימלית על מנת שלא יחליקו מהדפנות. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים R ו- μ_s.



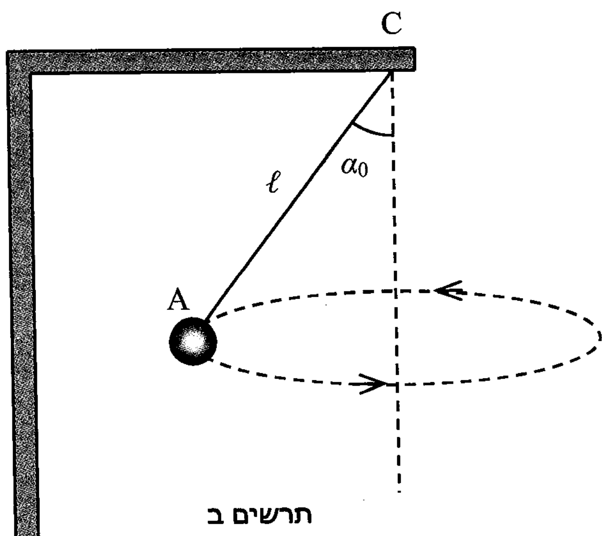
תרשים א'



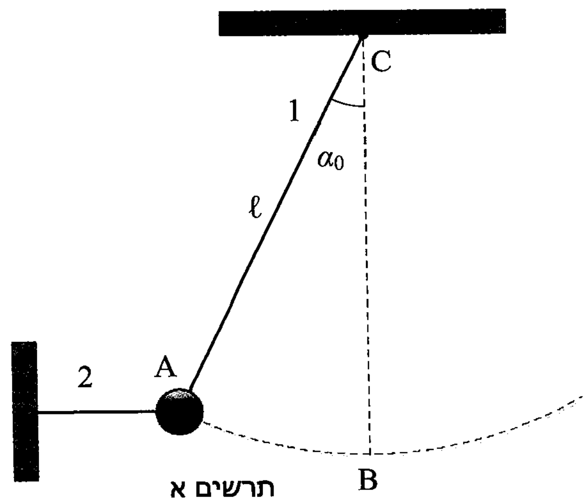
תרשים ב'

שאלה 8\פרק 6

קושרים כדור קטן באמצעות שני חוטים לשני קירות ניצבים. הכדור מחובר לנקודה C שבתקרה באמצעות חוט 1, ואל הקיר האנכי הוא מחובר בחוט אופקי 2. במצב זה הזווית הנוצרת בין החוט 1 לאנך היא α_0 (ראה תרשים א').



תרשים ב



תרשים א

ברגע מסוים חוט 2 נקרע והכדור מתחיל לבצע תנועה מחזורית (הלוך ושוב). נתון שמסת הכדור היא m ואורך החוט 1 הוא ℓ. מסת החוטים זניחה.

א. מצא את המתיחויות בחוטים 1 ו-2 לפני שהחוט 2 נקרע. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים mg ו-α_0.

ב. מצא את תאוצת הכדור ברגע שבו החוט 2 נקרע. בטא את תשובתך באמצעות הזווית α_0.

ג. מצא את המתיחות בחוט 1 מיד לאחר שהחוט 2 נקרע. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים mg ו-α_0.

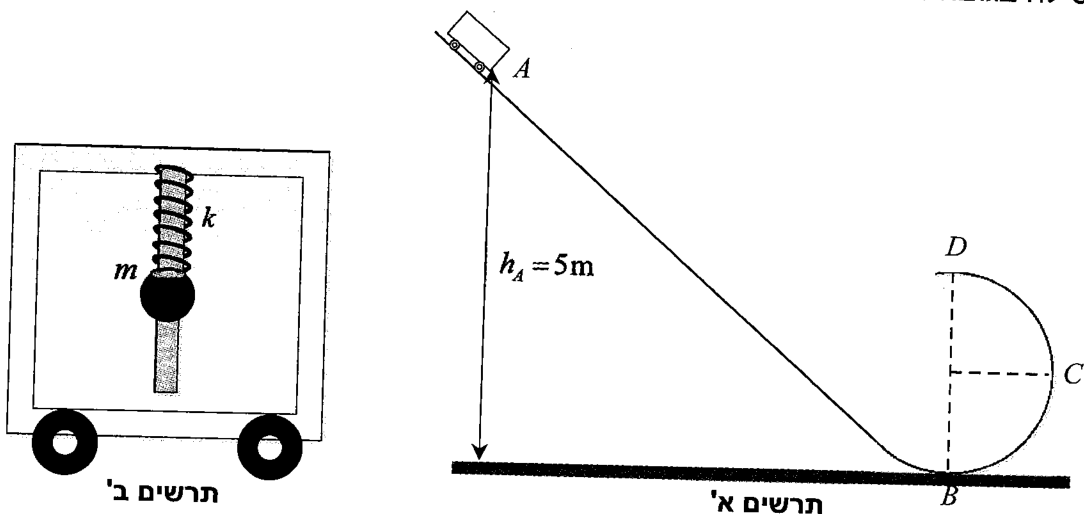
ד. בטא את מהירות הכדור בנקודה B באמצעות הגדלים ℓ, α_0 ו-g.

ה. בטא את המתיחות בחוט בנקודה B באמצעות הגדלים mg ו-α_0.

ו. במקרה אחר גורמים לכדור לנוע במסלול מעגלי שמישורו מקביל לפני הקרקע, כפי שמתואר בתרשים ב' (מטוטלת קונית).
נתון שהזווית בין החוט והאנך בתנועה זו קבועה וגודלה α_0 (ראה תרשים ב').
1) בטא את המתיחות בחוט באמצעות הגדלים mg ו-α_0.
2) בטא את זמן המחזור של התנועה המעגלית באמצעות הגדלים ℓ, α_0 ו-g.

שאלה 9\פרק 6

בתרשים א' מתואר מסלול המורכב ממסילה ישרה ומשופעת המסתיימת במסילה מעגלית שרדיוסה $R=1\text{m}$ ומישורה ניצב לפני הקרקע. משחררים עגלה קטנה ממנוחה מהנקודה A הנמצאת על המסילה בגובה $h=5\text{m}$ מעל פני הקרקע.



לתקרת העגלה מחובר מוט אנכי עליו מושחל קפיץ. צד אחד של הקפיץ קשור לתקרת העגלה וצדו השני קשור לחרוז המושחל אף הוא על המוט (ראה תרשים ב').
נתון שמסת החרוז היא $m=50\text{g}$, שקבוע הקפיץ $k=100\text{N/m}$ ושמסת העגלה (כולל כל הגופים בתוכה) היא $M=2\text{kg}$. נתון גם שממדי העגלה זניחים ביחס לרדיוס המסלול המעגלי.

א. חשב את מהירות העגלה בנקודה הנמוכה ביותר במסלול (בנקודה B).

ב. חשב את הכוח שהעגלה מפעילה על המסלול בנקודה B.

ג. קבע האם בנקודה B הקפיץ מכווץ או מתוח ביחס למצבו הרפוי? הסבר את תשובתך.

ד. חשב את שיעור התארכות או התכווצות הקפיץ במצב המתואר בסעיף הקודם.

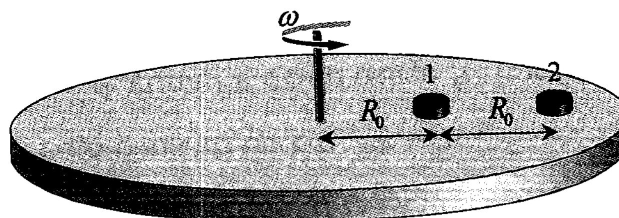
ה. חשב את מהירות העגלה בנקודה D.

ו. קבע האם בנקודה D הקפיץ מכווץ או מתוח ביחס למצבו הרפוי? הסבר את תשובתך.

ז. חשב את שיעור התארכות או התכווצות הקפיץ במצב המתואר בסעיף הקודם.

שאלה 10\פרק 6

מניחים שני מטבעות זהים, שמסת כל אחד מהם m, על דיסק המונח על משטח אופקי. המטבע הראשון מונח במרחק R_0 ממרכז הדיסק, והמטבע השני מונח במרחק $2R_0$ ממרכז הדיסק (ראה תרשים א').



תרשים א'

נתון שהדיסק יכול להסתובב מסביב לציר אנכי העובר במרכזו, במהירות זוויתית שנשלטת על ידי מנוע. בין המטבעות והדיסק קיים חיכוך. מקדם החיכוך הסטטי בין המטבעות והמשטח הוא μ_s.

מסובבים את הדיסק מסביב לצירו במהירות זוויתית קבועה, ω.

א. חשב את היחס בין המהירויות הקוויות של שני המטבעות, v_2 / v_1.

ב. חשב את היחס בין התאוצות הצנטריפטליות של שני המטבעות, a_2 / a_1.

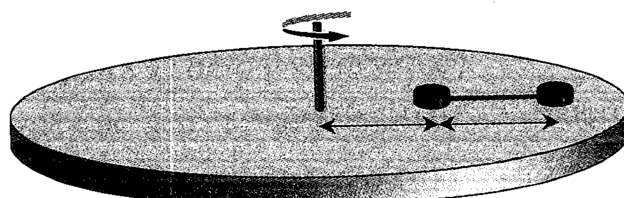
ג. חשב את היחס בין הכוחות השקולים הפועלים על שני המטבעות, $\Sigma F_2 / \Sigma F_1$.

מתחילים להגדיל בהדרגה את המהירות הזוויתית של הדיסק.

ד. קבע מי מבין שני המטבעות מתנתק ראשון מהדיסק.

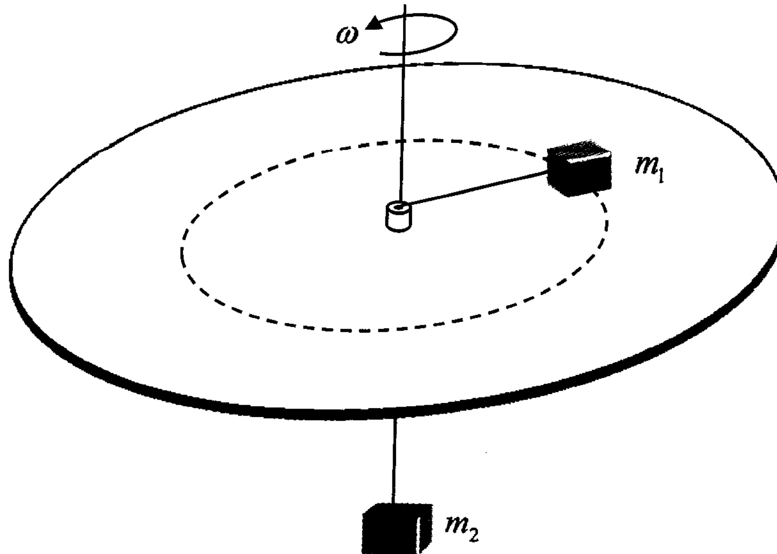
ה. מצא את התדירות המקסימלית המותרת על מנת שלא יתנתק המטבע בסעיף הקודם. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: μ_s ו-R_0.

ו. קושרים כעת את שני המטבעות בחוט שמסתו זניחה כך ששני המטבעות נמצאים על קו ישר שעובר במרכז הדיסק כפי שמתואר בתרשים ב'. מצא את המהירות הזוויתית המקסימלית שעבורה שני המטבעות אינם מתנתקים מהדיסק. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: μ_s ו-R_0


תרשים ב'

שאלה 11\פרק 6

קושרים גוף שמסתו $m_1 = 0.2\,\text{kg}$ לקצה חוט שמסתו זניחה ומניחים אותו על דיסק אופקי אותו ניתן לסובב סביב ציר סיבוב אנכי שעובר במרכזו. משחילים את החוט דרך פתח קטן הנמצא במרכז הדיסק וקושרים בקצהו השני משקולת שמסתה $m_2 = 0.1\,\text{kg}$ התלויה באוויר (ראה את התרשים שלפניך).



משחררים את המערכת ומסובבים את הדיסק במהירות זוויתית קבועה, $\omega = 2.5\,\text{rad/s}$, ומגלים שהגוף נמצא במנוחה יחסית לדיסק ומתייצב בתנועתו במסלול מעגלי שרדיוסו $R = 0.4\,\text{m}$. נתון שבין הדיסק והגוף המונח עליו קיים חיכוך, ומקדם החיכוך הסטטי הוא 0.4. בין החוט והפתח לא קיים חיכוך.

א. קבע מהו כיוון כוח החיכוך הסטטי שפועל על הגוף וחשב את גודלו.

ב. האם פועל כוח חיכוך על הגוף בכיוון המשיק למסלול המעגלי שלו?

ג. חשב מה צריך להיות גודל המהירות הזוויתית של הדיסק על מנת שכוח החיכוך הסטטי הפועל על הגוף כאשר $R = 0.4\,\text{m}$ יתאפס.

ד. חשב את גודל המהירות הזוויתית המקסימלית, ω_{max}, על מנת שהגוף יישאר במסלול המעגלי שרדיוסו $0.4\,\text{m}$.

ה. חשב את גודל המהירות הזוויתית המינימלית, ω_{min}, על מנת שהגוף יישאר במסלול המעגלי שרדיוסו $0.4\,\text{m}$.

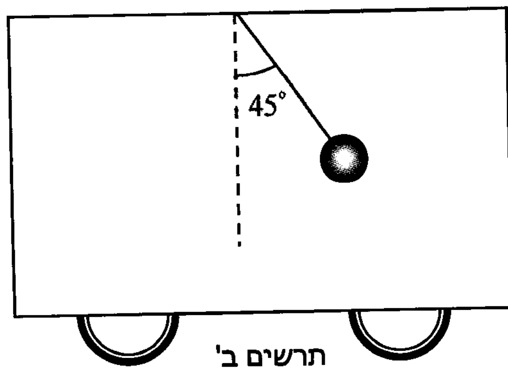
שאלה 12\פרק 6

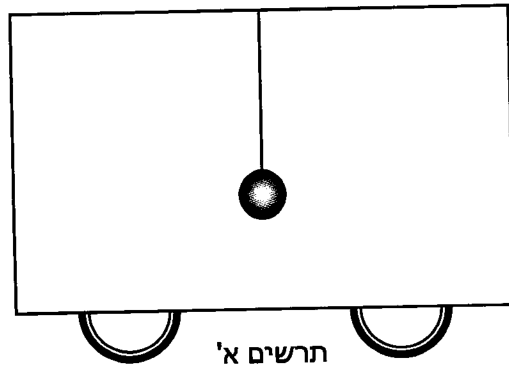
בתרשים א' מתוארת עגלה ובתוכה כדור קטן שמסתו $m = 20\,\text{g}$ הקשור לקצה חוט שמסתו זניחה. הקצה השני של החוט קשור לתקרת העגלה.

א. נתון שהעגלה נעה במהירות קבועה על משטח אופקי. קבע אם במצב זה הזווית שבין החוט לאנך שווה לאפס או שונה מאפס. הסבר את קביעתך.

ב. במקרה אחר העגלה נעה על המשטח בתאוצה קבועה בקו ישר. במקרה זה נוצרת בין החוט

והאנך זווית של 45° כפי שמתואר בתרשים ב'.



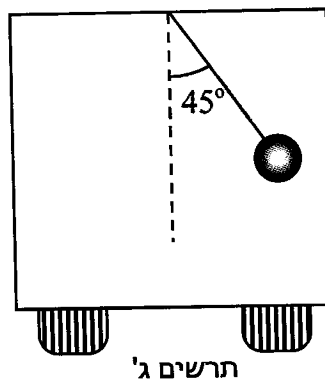


(1) קבע מהו כיוון תנועת העגלה.

(2) חשב את גודל וכיוון תאוצת העגלה.

(3) חשב את המתיחות בחוט.

ג. במקרה נוסף העגלה נעה במהירות שגודלה קבוע על המשטח האופקי במסלול מעגלי שרדיוסו $R=1.6\,m$. גם במקרה זה נוצרת בין החוט והאנך זווית קבועה שגודלה 45° כמתואר בתרשים ג'.

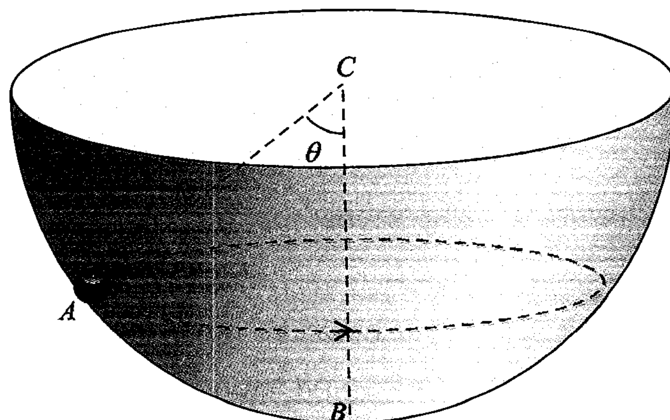


(1) חשב את גודל מהירות העגלה.

(2) חשב את המתיחות בחוט.

שאלה 13\פרק 6

כדור קטן מסתובב בתוך מכל חצי כדורי שרדיוסו R במסלול מעגלי שמישורו מקביל לפני הקרקע (ראה תרשים).



נתון כי מסת הכדור היא m, מהירותו הזוויתית היא ω, והזווית בין האנך לקרקע ובין הקו המחבר בין הכדור הקטן לבין מרכז המכל החצי כדורי, C, היא θ (ראה תרשים).

א. סמן באמצעות חיצים את הכוחות הפועלים על הכדור.

ב. קבע מהו כיוון הכוח השקול הפועל על הכדור.

ג. קבע את הכוח (גודל וכיוון) שהמכל הכדורי מפעיל על הכדור. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים mg ו- θ.

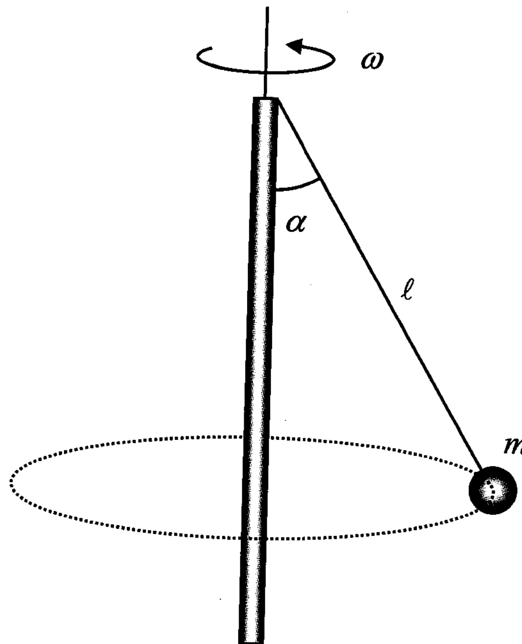
ד. בטא את הזווית θ באמצעות הגדלים R, g ו-ω.

ה. קבע האם ניתן להגיע למצב שבו הזווית θ שווה ל-$90°$? הסבר את תשובתך.

ו. עוצרים את הכדור בנקודה A ומשחררים אותו ממנוחה. מצא את הכוח הנורמלי שפועל על הכדור כשהוא עובר בנקודה B. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים R, mg ו- θ.

שאלה 14\פרק 6

קבוצת תלמידים ערכה את הניסוי הבא: הם קשרו כדור קטן שמסתו m לקצה העליון של מוט אנכי שמסתובב סביב הציר האנכי במהירות זוויתית ω (ראה תרשים).



נתון שאורך החוט הוא $\ell = 2\text{m}$, שמסתו זניחה ושניתן לשנות את גודל המהירות הזוויתית של המוט, ω.

התלמידים שינו את המהירות הזוויתית ω מספר פעמים, ובכל פעם מדדו את הזווית α הנוצרת בין החוט והמוט. תוצאות המדידות רשומות בטבלה שלפניך.

$\omega(\text{rad/s})$	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
$\alpha(°)$	37	56	66	72	76

התלמידים שרטטו גרף המתאר את הגודל $1/\cos\alpha$ כפונקציה של ω^2.

א. הסתמך על חוקי הפיזיקה ובטא את הקשר בין $\cos\alpha$ ובין ω.

ב. מדוע לדעתך התלמידים בחרו לשרטט גרף של $1/\cos\alpha$ כפונקציה של ω^2? הסבר את תשובתך.

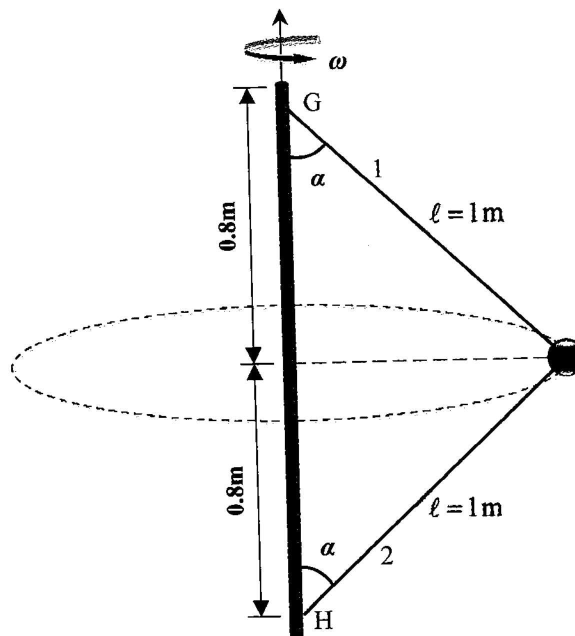
ג. הכן טבלה המתארת את $1/\cos\alpha$ כפונקציה של ω^2 ושרטט באמצעותה גרף המתאר את $1/\cos\alpha$ כפונקציה של ω^2.

ד. חשב באמצעות הגרף ששרטטת בסעיף הקודם את תאוצת הכובד.

ה. התלמידים הסיקו מהניסוי שישנה מהירות זוויתית מינימלית, ω_{min}, שעבור מהירויות זוויתיות קטנות ממנה לא מתקבלת תנועה מעגלית של הכדור. חשב את הגודל של מהירות זוויתית מינימלית זו.

שאלה 15\פרק 6

נתון מוט אנכי היכול להסתובב סביב ציר האורך שלו. אל שתי נקודות (G ו- H) הנמצאות על המוט קושרים כדור קטן באמצעות שני חוטים זהים, חוט 1 וחוט 2, שמסתם זניחה (ראה תרשים). מסובבים את המוט מסביב צירו במהירות זוויתית קבועה שגודלה $\omega = 5\,\text{rad/s}$, וכתוצאה מכך הכדור חג במסלול מעגלי במישור המקביל לפני הקרקע.



נתון שאורך כל אחד משני החוטים הוא $\ell = 1\text{m}$, שהמרחק בין שתי הנקודות G ו- H הוא 1.6m ושמסת הכדור היא $m = 0.5\,\text{kg}$.

א. חשב את המתיחות בכל אחד משני החוטים.

ב. מתחילים להגדיל את המהירות הזוויתית ω של המוט, ומתברר שבמהירות זוויתית מסוימת, ω_{max} אחד החוטים נקרע.

(1) קבע איזה מבין שני החוטים נקרע תחילה, חוט 1 או חוט 2. הסבר את קביעתך.

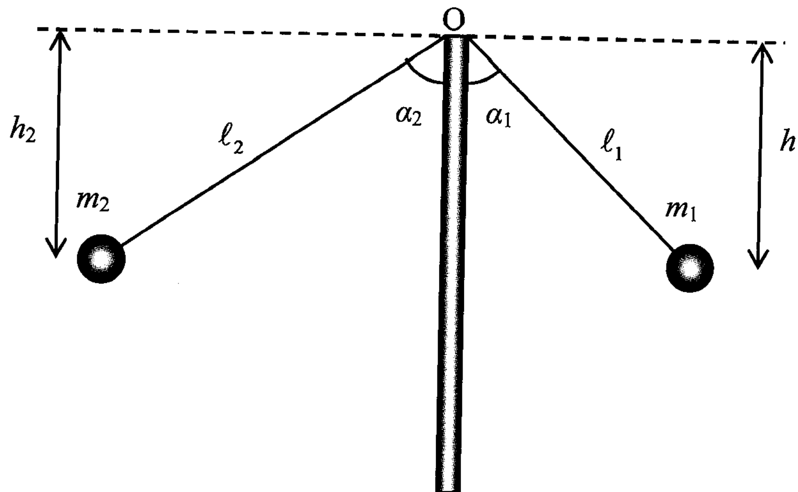
(2) חשב את המהירות הזוויתית ω_{max} שבה נקרע החוט בסעיף הקודם, אם נתון שהמתיחות

המקסימלית שכל אחד משני החוטים יכול לשאת היא $500\,N$.

ג. חשב את תדירות הסיבוב המינימלית של המוט על מנת שהחוט 2 יישאר מתוח.

שאלה 16\פרק 6

לקצהו העליון (O) של מוט אנכי קושרים שני כדורים שונים. את הכדור 1, שמסתו m_1, קושרים באמצעות חוט שאורכו ℓ_1, ואת הכדור 2, שמסתו m_2, קושרים באמצעות חוט שאורכו ℓ_2. נתון כי מסת שני החוטים ניתנת להזנחה, וכי מתקיים $\ell_2 > \ell_1$ (ראה תרשים).



מסובבים את המוט במהירות זוויתית מסוימת ω, וכתוצאה מכך נוצרות שתי זוויות: α_1 בין המוט לחוט ℓ_1 ו- α_2 בין המוט לחוט ℓ_2.

א. בטא את גודל הזוויות α_1 ו- α_2 באמצעות הגדלים ω ו- ℓ_1 או ℓ_2.

ב. קבע מי מבין שתי הזוויות α_1 או α_2 גדולה יותר.

ג. הוכח ששני הכדורים מסתובבים באותו מישור.

ד. נניח ש- $m_1 = m_2$. קבע עבור מי משני הכדורים מתקיים:

(1) הכוח השקול הפועל עליו גדול יותר. הסבר את תשובתך.

(2) המתיחות בחוט הקשור אליו גדולה יותר. הסבר את תשובתך.

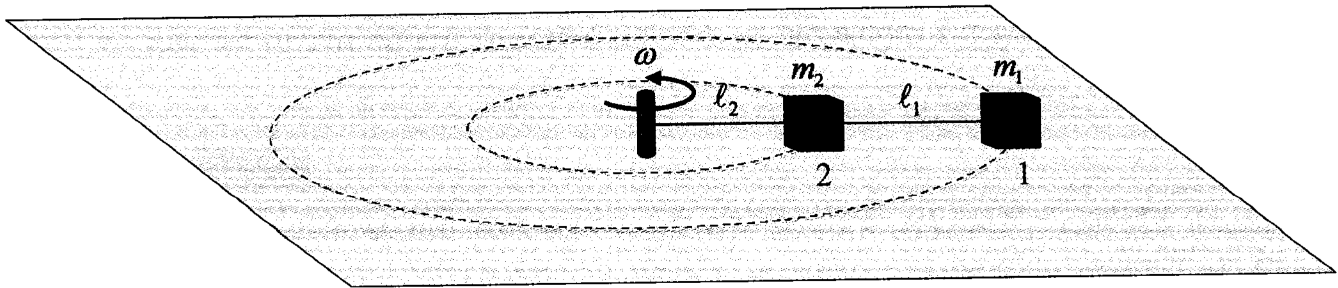
ה. מצא את היחס בין המתיחויות בחוטים: T_2 / T_1. בטא את תשובתך באמצעות שני הגדלים ℓ_1 ו- ℓ_2.

ו. קבע מהו תחום המהירויות הזוויתיות שגורם להיווצרות זוויות שונות מאפס בין שני החוטים והמוט.

שאלה 17\פרק 6

נתונים שני גופים שונים, גוף 1 וגוף 2 שמסותיהם m_1 ו- m_2 בהתאמה. קושרים את שני הגופים זה לזה באמצעות חוט שאורכו ℓ_1, וקושרים את הגוף 2 באמצעות חוט נוסף שאורכו ℓ_2 לציר סיבוב הנמצא על משטח אופקי <u>חלק</u> (ראה תרשים). מניחים את שני הגופים על המשטח החלק כך ששניהם

נמצאים על קו ישר שעובר דרך ציר הסיבוב.



מסובבים את שני הגופים סביב ציר הסיבוב במהירות זוויתית קבועה, ω, כך שהם נשארים כל הזמן על קו ישר שעובר דרך ציר הסיבוב. הנח שמסת החוטים זניחה ושממדי הגופים זניחים ביחס לאורכי החוטים ℓ_1 ו- ℓ_2.

א. הראה ש- $T_1 > T_2$, כאשר T_2 היא המתיחות בחוט הפנימי ו- T_1 הוא המתיחות בחוט החיצוני.

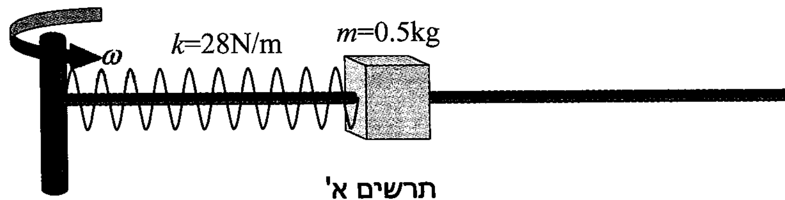
ב. מצא את T_1 ו- T_2. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: ℓ_1, ℓ_2, m_1 ו- m_2, כולם או חלקם.

ג. נתון $m_1 = 0.2\,\text{kg}$, $m_2 = 0.6\,\text{kg}$, $\ell_1 = 40\,\text{cm}$ ו- $\ell_2 = 60\,\text{cm}$. חשב את המהירות הזוויתית המקסימלית האפשרית עבור המערכת אם נתון שהמתיחות המקסימלית שכל חוט יכול לשאת היא $14\,\text{N}$.

ד. קבע על מי משני הגופים פועל כוח שקול גדול יותר, אם נתון ש- $m_1 = m_2$. הסבר את תשובתך.

שאלה 18\פרק 6

בתרשים א' מתואר מוט אנכי חלול אליו חובר מוט אופקי חלק שאורכו $L = 80\,\text{cm}$. על המוט האופקי משחילים גוף המחובר לקפיץ, ואת הקפיץ מחברים למוט האנכי (ראה תרשים א).



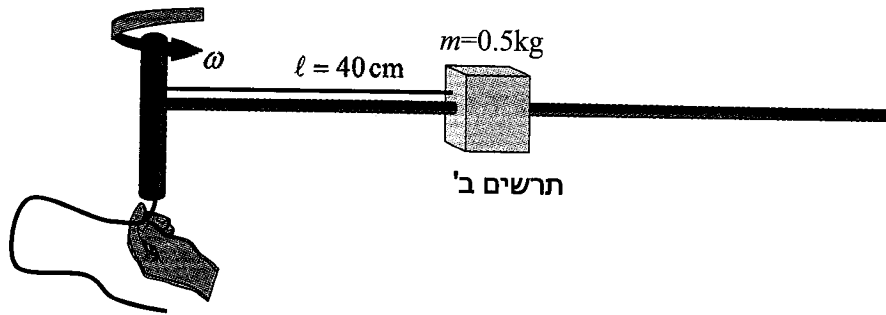
תרשים א'

נתון שמסת הגוף $m = 0.5\,\text{kg}$, שקבוע הקפיץ $28\,\text{N/m}$ ושאורכו $\ell_0 = 30\,\text{cm}$.

א. מסובבים את המוט האנכי סביב צירו במהירות זוויתית של $4\,\text{rad/s}$. חשב את התארכות הקפיץ ואת רדיוס המסלול המעגלי של הגוף.

ב. חשב את המהירות הזוויתית המקסימלית בה ניתן לסובב את המערכת מבלי שהגוף יתנתק מהמוט האופקי. הנח שהקפיץ לא מאבד את האלסטיות שלו.

עוצרים את המערכת ומרחיקים את הקפיץ. קושרים את הגוף לקצה חוט ארוך שמסתו זניחה. את הקצה השני של החוט משחילים דרך המוט החלול, לאורך ציר הסיבוב (ראה תרשים ב'). מחזיקים את הקצה החופשי של החוט כך שאורך קטע החוט בין הגוף וציר הסיבוב הוא $\ell = 40\,\text{cm}$ (ראה תרשים ב).



מסובבים את המערכת במהירות זוויתית של $4 \mathrm{rad/s}$.

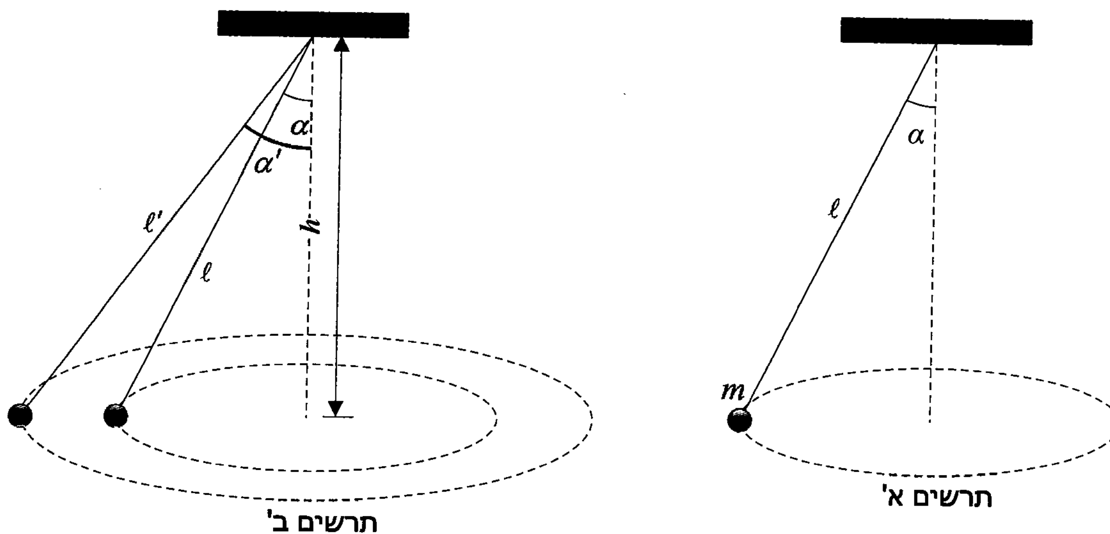
ג. חשב את המתיחות בחוט.

ד. מתחילים לשחרר את החוט מהצד הפנימי, כך רדיוס המסלול המעגלי של הגוף גדל. האם כתוצאה מכך המתיחות בחוט גדלה או קטנה? הסבר את תשובתך.

ה. חשב את האורך המקסימלי האפשרי עבור קטע החוט הנמצא בין הגוף וציר הסיבוב על מנת שהחוט לא יקרע, אם נתון שהוא יכול לשאת מתיחות מקסימלית של $6\mathrm{N}$.

שאלה 19\פרק 6

בתרשים א' מתוארת מטוטלת קונית המורכבת מכדור נקודתי שמסתו m הקשור לתקרה באמצעות חוט שאורכו ℓ ומסתו זניחה. הכדור נע במסלול מעגלי מקביל לפני הקרקע, כך שנוצרת בין החוט ובין האנך זווית קבועה שגודלה α (ראה תרשים א').



א. סמן באמצעות חיצים את כל הכוחות הפועלים על הכדור וקבע מהו כיוון הכוח השקול.

ב. מצא את המתיחות בחוט, T. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים mg ו- α.

ג. מצא את זמן המחזור של הכדור, T_P, בתנועתו המעגלית. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים ℓ ו- g.

ד. מייצרים מטוטלת נוספת, המורכבת מכדור זהה לקודם הקשור לאותה נקודה בתקרה באמצעות חוט שאורכו ℓ'. חוט זה יוצר עם האנך זווית α'. מישור הסיבוב של הכדור השני זהה למישור הסיבוב של הכדור הראשון, ומרכז שניהם נמצא במרחק h מהתקרה (תרשים ב').

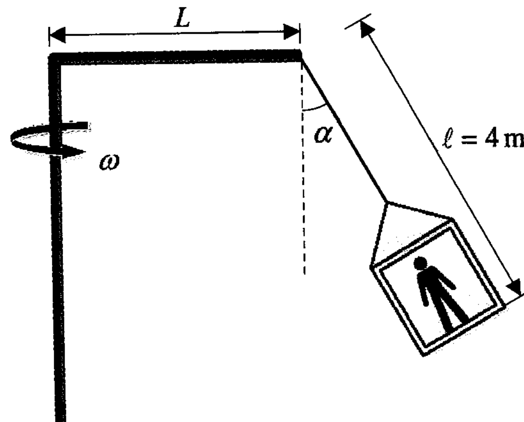
(1) חשב את היחס בין המתיחויות בשני החוטים, (T'/T).

(2) חשב את היחס בין זמני המחזור של שני הכדורים, (T_P'/T_p).

(3) קבע על מי מבין שני הכדורים פועל כוח שקול גדול יותר? הסבר את קביעתך.

שאלה 20\פרק 6

התרשים שלפניך מתאר מתקן בפארק שעשועים המורכב ממוט אנכי המחובר לו מוט אופקי שאורכו L. בקצה המוט תלוי תא באמצעות קבל, כך שמרחק בסיס התא מקצה המוט הוא ℓ (ראה תרשים).



תלמיד הכניס מאזניים אל תוך התא ונעמד עליהם, והמתקן החל להסתובב סביב המוט האנכי במהירות זוויתית קבועה ω וכתוצאה מכך נוצרת זווית α בין הקבל והאנך כפי שמתואר בתרשים. נתון $\ell = 4\text{m}$, מסת התא היא $m = 20\text{kg}$, מסת התלמיד $M = 50\text{kg}$, קריאת המאזניים במצב במתואר בתרשים היא 1000N וזמן המחזור של התנועה המעגלית הוא 4s. מסת הכבל זניחה ביחס למסת התלמיד והתא.

א. חשב את גודל הזווית α.

ב. חשב את המתיחות בקבל.

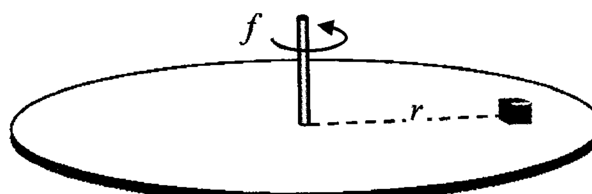
ג. חשב את תאוצת התלמיד.

ד. חשב את אורך המוט האופקי (L).

שאלה 21\פרק 6

על מנת למדוד את מקדם החיכוך הסטטי בין גוף ובין חומר מסוים, קבוצה של תלמידים מבצעת את הניסוי הבא:

התלמידים בונים מחומר זה מעין דיסק. מניחים את הדיסק על בסיס אופקי המאפשר לו להסתובב סביב למרכזו, ומניחים עליו את הגוף במרחק r ממרכז הסיבוב, כפי שמתואר בתרשים לפניך.



התלמידים מסובבים את הדיסק בתדירות ההולכת וגדלה בהדרגה, עד לתדירות f_{max} שבה הגוף מתנתק מהמשטח, ורושמים את ערכי r ו- f_{max}. לאחר מכן הם חוזרים על אותה פעולה עבור ערכים שונים של r ובכל פעם רושמים את התדירות שבה הגוף מתחיל לנוע יחסית למשטח. תוצאות הניסוי מוצגות בטבלה שלפניך.

r(m)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
f_{max}(Hz)	1.4	1.15	1	0.9	0.8

נתון שמסת הגוף היא $m = 20\text{g}$.

א. פתח, על סמך שיקולים פיזיקליים, את הקשר בין התדירות f_{max} ו- r.

ב. הסתמך על הקשר שקיבלת בסעיף הקודם ועל הטבלה הנ"ל ושרטט גרף לינארי המתאר את תוצאות הניסוי.

ג. חשב, באמצעות הגרף ששרטטת, את מקדם החיכוך הסטטי בין הגוף והמשטח.

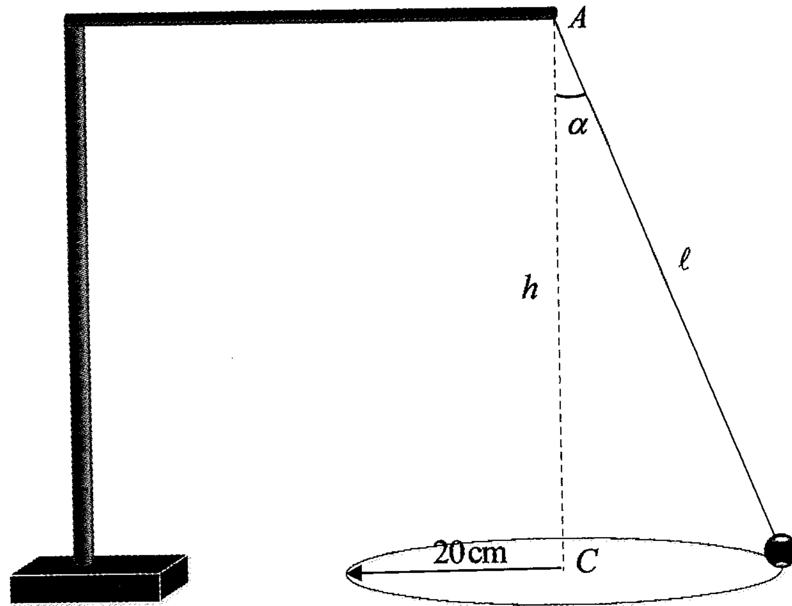
ד. מניחים את הגוף במרחק $r = 0.8\text{m}$ מציר הסיבוב, וקושרים אותו באמצעות חוט לציר הסיבוב. מסובבים את הדיסק במהירות ההולכת וגדלה, וכתוצאה מכך מסתובב הגוף ביחד עם הדיסק בתאוצה משיקית a_t. חשב את הערך המקסימלי עבור a_t על מנת שהגוף לא יחליק על הדיסק במהלך סיבובו. פרט את חישוביך.

שאלה 22\פרק 6

תלמיד מבצע את הניסוי הבא: הוא משרטט על נייר בריסטול עיגול שרדיוסו $R = 20\text{cm}$ ומסמן באות C את נקודת המרכז שלו. לאחר מכן הוא מניח את הנייר על רצפת המעבדה. ליד הנייר הוא מציב מעמד מעבדתי ומחבר אליו מוט אופקי. בהמשך הוא קושר כדור קטן באמצעות חוט ארוך ותופסן לנקודה A שבקצה המוט האופקי. התופסן מאפשר לשנות אורך החוט במהלך הניסוי. ניתן לשנות גם את הגובה של המוט האופקי מעל פני הקרקע, h.

התלמיד מציב את המעמד כך שהנקודה A נמצאת בדיוק מעל מרכז המעגל C, ומותח את החוט כך שהכדור נוגע בהיקף המעגל, כפי שמוצג בתרשים שלפניך. במצב זה הוא מחבר באמצעות התופסן את קצה החוט לנקודה A (ראה תרשים).

התלמיד אוחז בחלק העליון של החוט ומתחיל לסובב אותו עד שהוא מגיע לתדירות סיבוב שעבורה הכדור מסתובב בדיוק מעל היקף העיגול (הכדור מסתובב בדיוק מעל העיגול אבל אינו נוגע בנייר). במצב זה הוא מרפה מהחוט, ונותן לכדור להמשיך להסתובב. הוא מודד את הזמן של 5 סיבובים (T_5), ורושם גם את הגובה h של הנקודה A מהרצפה, (גובה החרוט בתרשים). התלמיד חוזר על אותה פעולה עבור גבהים שונים, ובכל פעם הוא רושם את הגובה h ואת הזמן הדרוש להשלמת 5 מחזורים.



להלן התוצאות שהתלמיד קיבל:

h(m)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
T_5(s)	4.44	5.44	6.28	7.03	7.70

א. מצא על סמך חוקי הפיזיקה את הקשר בין זמן המחזור T והגובה h.

ב. על סמך הקשר שמצאת בסעיף הקודם שרטט גרף לינארי המתאר את תוצאות הניסוי.

ג. היעזר בגרף ששרטטת בסעיף הקודם וחשב את תאוצת הכובד.

ד. קבע האם אחוז השגיאה במדידת זמן המחזור הוא קטן יותר עבור ערכים גדולים של h, או עבור ערכים קטנים שלו? הסבר את תשובתך.

שאלה 23\פרק 6

בתרשים שלפניך מתוארת מכונית (צעצוע) המונחת על פני שולחן אופקי רחב. המכונית קשורה לקצה חוט שמסתו זניחה. החוט כרוך מסביב לגלגלת אידיאלית המחוברת לתקרה באמצעות ציר סיבוב אנכי. הקצה השני של החוט מושחל דרך פתח הנמצא בשולחן בדיוק מתחת לגלגלת וקשור למשקולת m_2 הנמצאת באוויר מתחת לשולחן (ראה תרשים).

מפעילים את מנוע המכונית, והיא מתחילה לנוע על פני השולחן ומתייצבת במסלול מעגלי שמרכזו הפתח בשולחן ורדיוסו $R = 0.6\,\text{m}$. במהלך תנועת המכונית הגלגלת מסתובבת ביחד עם המכונית.

נתון: מסת המכונית $m_1 = 0.8\,\text{kg}$, מסת המשקולת $m_2 = 0.6\,\text{kg}$, גובה הגלגלת מעל פני השולחן $h = 0.8\,\text{m}$ ומהירות המכונית $v = 1.5\,\text{m/s}$.

א. חשב את המתיחות בחוט.

ב. חשב את הזווית α (ראה תרשים).

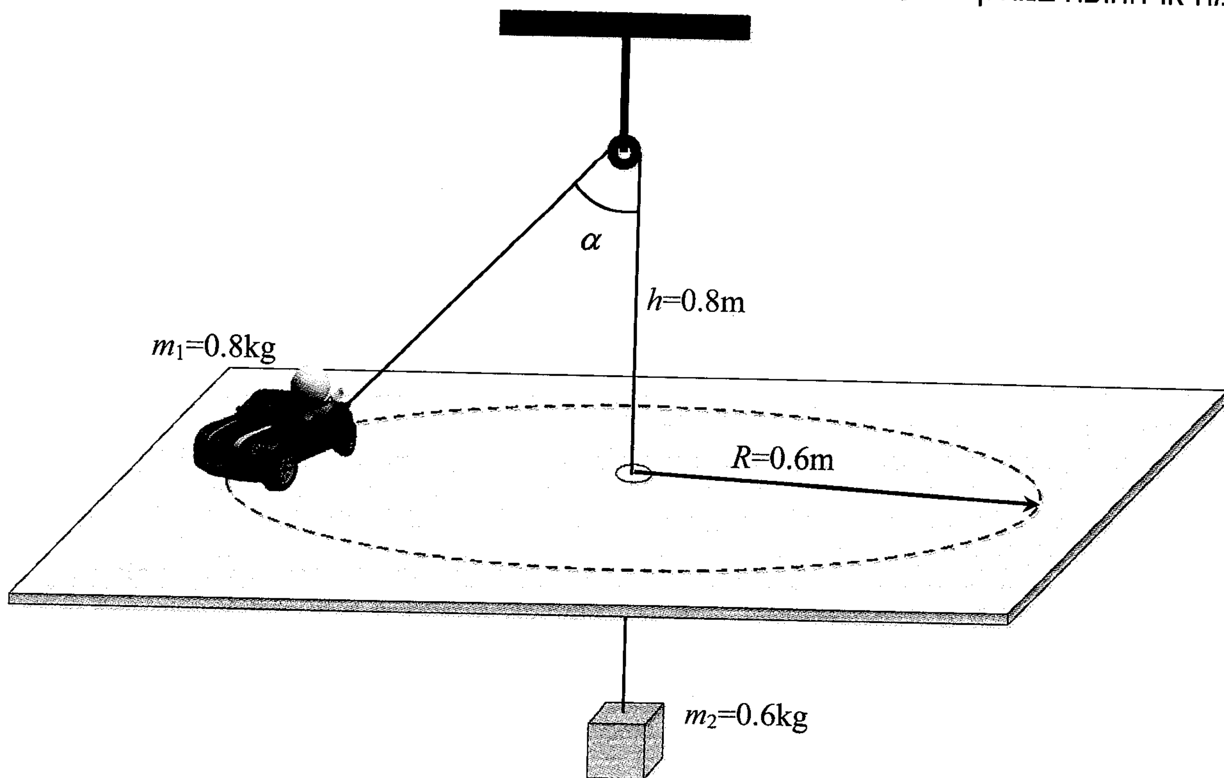
ג. חשב את הכוח שהמכונית מפעילה על המשטח.

ד. חשב את גודל החיכוך הפועל על גלגלי המכונית בכיוון רדיאלי.

ה. קבע מהו הערך המינימלי עבור מקדם החיכוך הסטטי על מנת שהמכונית תישאר במסלולה.

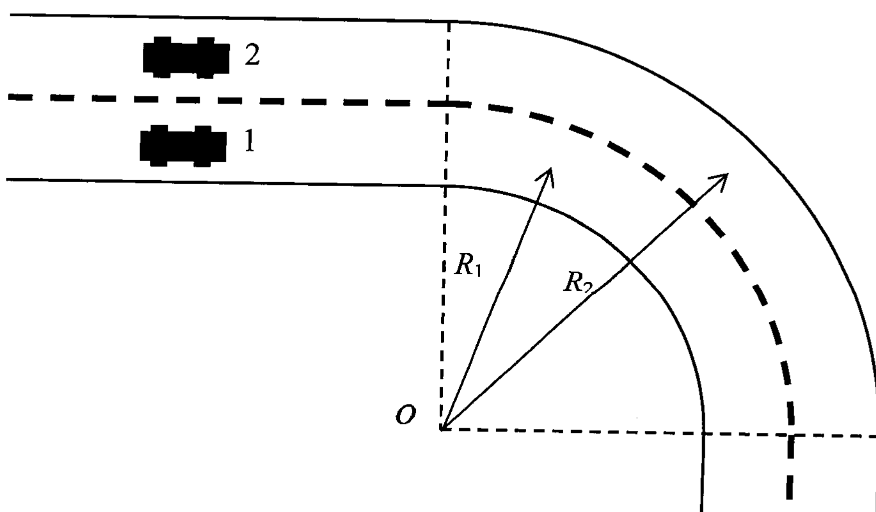
ו. חשב את גודל המהירות של המכונית שעבורה החיכוך הסטטי בכיוון רדיאלי מתאפס.

ז. נתון שמקדם החיכוך הסטטי בין גלגלי המכונית והמשטח $\mu_s = 0.4$. חשב את המהירות הנמוכה ביותר ואת המהירות הגבוהה ביותר עבור המכונית על מנת שהמכונית לא תחליק בכיוון רדיאלי פנימה או החוצה במהלך תנועתה.



שאלה 24\פרק 6

שני רכבים בעלי מסה זהה, m כל אחד, נוסעים בכביש ישר זה ליד זה בשני נתיבים צמודים ובאותה מהירות שגודלה v. במהלך תנועתם, שני הרכבים נכנסים לסיבוב מעגלי (ראה תרשים). הרכב הראשון, 1, נע בנתיב הפנימי שרדיוסו R_1, והרכב השני, 2, נע בנתיב החיצוני שרדיוסו R_2 $(R_2 > R_1)$.



נתון שמקדם החיכוך הסטטי בין הגלגלים לכביש זהה עבור שני הרכבים.

א. קבע לאיזו משתי המכוניות מהירות זוויתית גדולה יותר במהלך תנועתן במסלול המעגלי. הסבר את קביעתך וחשב את היחס בין מהירויות זוויתיות אלה.

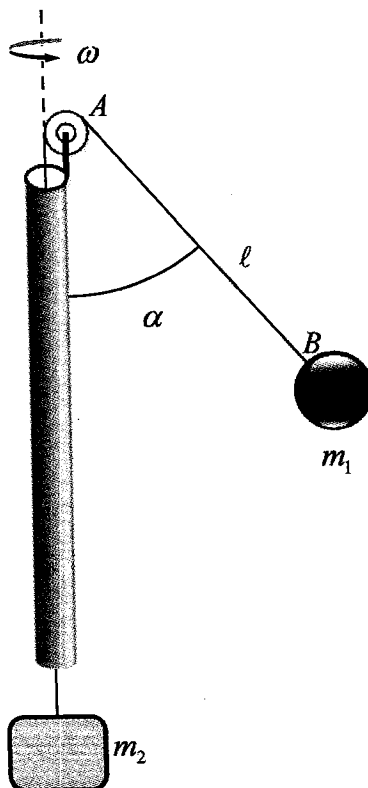
ב. קבע למי מבין שתי המכוניות ההסתברות להחלקה בתנועה המעגלית היא גדולה יותר? הסבר את קביעתך.

ג. מצא את הערך המינימלי האפשרי עבור מקדם החיכוך הסטטי על מנת שאף אחת משתי המכוניות לא תחליק במהלך תנועתה בסיבוב המעגלי. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: v, g, R_1 או R_2.

ד. חשב את היחס הנדרש בין מהירויות שתי המכוניות על מנת שיפעל עליהן אותו חיכוך סטטי בכיוון המרכז במהלך תנועתן המעגלית.

שאלה 25\פרק 6

נתונה מערכת ניסוי המורכבת מצינור אנכי דק שלקצהו העליון מחוברת גלגלת ומכדור המחובר באמצעות חוט למשקולת כך שהחוט כרוך מסביב לגלגלת ועובר דרך הצינור (ראה תרשים). נתון כי מנוע מסובב את הצינור סביב צירו בתדירות הניתנת לשינוי, כמו כן נתון כי מסת החוט ניתנת להזנחה, וכי אין חיכוך בגלגלת.



מסובבים את הצינור ויחד אתו את הכדור, בתדירות זוויתית שגדלה בהדרגה עד שמגיעים לתדירות מסוימת f_0 שבה המשקולת נמצאת במצב שווי משקל. במצב זה אורך הקטע AB של החוט הוא ℓ.
נתון שמסת הכדור היא m_1, ושמסת המשקולת היא m_2.

א. מצא את המתיחות בחוט. בטא את תשובתך באמצעות נתוני השאלה – כולם או חלקם.

ב. מצא את הזווית α הנוצרת בין החוט והצינור. בטא את תשובתך באמצעות נתוני השאלה - כולם או חלקם.

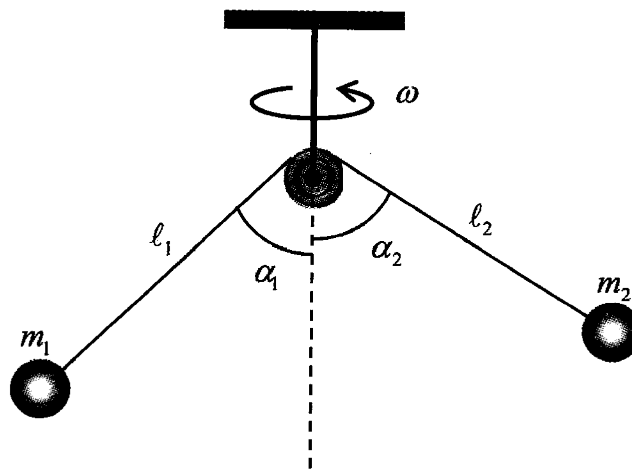
ג. קבע מהו הקשר שצריך להתקיים בין m_1 ו- m_2 על מנת שיהיה אפשרי להגיע למצב שווי משקל של המשקולת m_2.

ד. מצא את התדירות f_0 שעבורה המסה m_2 נמצאת במצב שווי משקל. בטא את תשובתך באמצעות נתוני השאלה – כולם או חלקם.

ה. מסובבים את המערכת בתדירות f' הגדולה פי 2 מהתדירות שקבעת בסעיף הקודם $(f' = 2f_0)$. חשב עכשיו את אורך הקטע AB של החוט שעבורו המשקולת תהיה במנוחה. בטא את תשובתך באמצעות האורך ℓ.

שאלה 26\פרק 6

נתונה גלגלת אידיאלית המחוברת לתקרה באמצעות ציר סיבוב אנכי ושני כדורים, 1 ו-2, הקשורים באמצעות חוט שמסתו זניחה ואורכו L. מסות הכדורים 1 ו-2 הן m_1 ו- m_2 בהתאמה. כורכים את החוט סביב הגלגלת ומסובבים את הציר של הגלגלת בתדירות מסוימת, כך ששתי המסות מתייצבות בתנועתן המעגלית בממצב שבו אורך החוט הקשור לכדור 1 הוא הוא ℓ_1 והזווית בינו לבין האנך היא α_1, ואורך החוט הקשור לכדור 2 הוא ℓ_2, והזווית בינו ובין האנך היא α_2 (ראה תרשים). שים לב! מתקיים $\ell_1 + \ell_2 = L$.



א. קבע מהו היחס ℓ_2 / ℓ_1 שעבורו כל אחד משני הכדורים מתייצב במסלול מעגלי קבוע. בטא את תשובתך באמצעות שני הגדלים m_1 ו- m_2.

ב. מצא את היחס $\cos\alpha_2 / \cos\alpha_1$. בטא את תשובתך באמצעות שני הגדלים m_1 ו- m_2.

ג. מצא את היחס h_2 / h_1, כאשר h_2 הוא מרחק מישור הסיבוב של הכדור 2 מקצה הגלגלת, ו- h_1 הוא מרחק מישור הסיבוב של הכדור 1 מקצה הגלגלת. בטא את תשובתך באמצעות שני הגדלים m_1 ו- m_2.

ד. נתון $m_1 = 0.2\,\text{kg}$, $m_2 = 0.4\,\text{kg}$, $L = 120\,\text{cm}$ ו- $\omega = 8\,\text{rad/s}$. חשב את הגדלים הבאים:

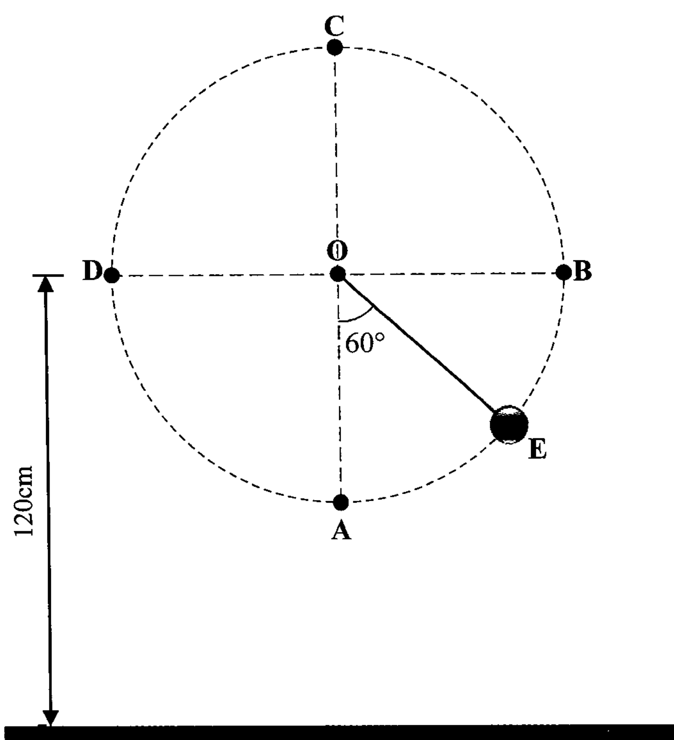
(1) ℓ_1 ו- ℓ_2.

(2) T_1 ו- T_2.

(1) α_1 ו- α_2.

שאלה 27\פרק 6

במהלך ניסוי, קושרים כדור m אל ציר סיבוב אופקי O באמצעות חוט שמסתו זניחה ואורכו ℓ. בהיות הכדור במנוחה בנקודה A מקנים לו מהירות אופקית שגודלה $9\,\text{m/s}$, וכתוצאה מכך הכדור מתחיל לבצע תנועה מעגלית במישור הניצב לפני הקרקע וציר הסיבוב O במרכזה. במהלך תנועתו המעגלית הכדור עובר בנקודות B, C ו- D (ראה תרשים).



נתון: מסת הכדור $m = 0.2\,\text{kg}$, אורך החוט $\ell = 60\,\text{cm}$ וגובה ציר הסיבוב, O, הוא $120\,\text{cm}$ מהרצפה.

א. חשב את הכוח השקול (גודל וכיוון) הפועל על הכדור בנקודה A. חשב באמצעות כוח זה את המתיחות בחוט בנקודה זו.

ב. חשב את הכוח השקול (גודל וכיוון) הפועל על הכדור בנקודות B ו- C.

ג. חשב את הכוח השקול (גודל וכיוון) הפועל על הכדור בנקודה E שבה החוט יוצר זווית של 60° עם האנך (ראה תרשים).

ד. כאשר הכדור עובר דרך הנקודה A בפעם השנייה החוט נקרע. חשב:

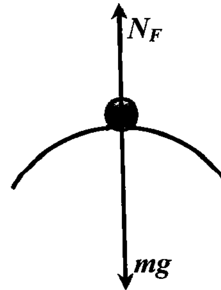
(1) את הזמן שחולף מרגע קריעת החוט ועד שהכדור פוגע בקרקע.

(2) את המרחק האופקי שהכדור עובר מהנקודה A עד לנקודת הפגיעה בקרקע.

פתרונות שאלות פרק 6 – תנועה מעגלית

פתרון שאלה 1\פרק 6

א. בנקודה F פועלים על הגוף הכוחות המתוארים בתרשים הבא:



נשתמש בחוק השני של ניוטון כשהגוף נמצא בנקודה F ונקבל:

$$mg - N_F = mv_F^2 / R_2$$
$$\Rightarrow N_F = m\left(g - v_F^2 / R_2\right)$$

ב. נציב $N_F = \frac{3}{4}mg$ במשוואה שקיבלנו בסעיף הקודם ונקבל:

$$\tfrac{3}{4}mg = m\left(g - v_F^2 / R_2\right)$$
$$\Rightarrow v_F = \sqrt{R_2\left(g - \tfrac{3}{4}g\right)} = \tfrac{1}{2}\sqrt{R_2 g} =$$
$$= \tfrac{1}{2}\sqrt{0.4 \times 10} = 1\,\text{m/s}$$

ג. נשתמש בחוק שימור האנרגיה בין הנקודות A ו-F, כאשר מישור הייחוס הוא פני הקרקע:

$$mgh_A + \tfrac{1}{2}mv_A^2 = mgh_F + \tfrac{1}{2}mv_F^2$$
$$\Rightarrow h_A + 0 = h_F + \frac{v_F^2}{2g}$$
$$\Rightarrow h_A = 0.5 + \frac{1}{20} = 0.55\,\text{m}$$

ד. נחשב קודם את מהירות הגוף בנקודה C באמצעות חוק שימור האנרגיה בין הנקודות A ו-C:

$$mgh_A + \tfrac{1}{2}mv_A^2 = mgh_C + \tfrac{1}{2}mv_C^2$$
$$\Rightarrow gh_A + 0 = 0 + \tfrac{1}{2}v_C^2$$

$$\Rightarrow v_C = \sqrt{2gh_A} = \sqrt{2(10)(0.55)} = \sqrt{11}\,\text{m/s}$$

על ידי שימוש בחוק השני של ניוטון בנקודה C נקבל:

$$N_C - mg = mv_C^2 / R_1$$
$$\Rightarrow N_C = m\left(\frac{v_C^2}{R_1} + g\right) =$$
$$= 0.2\left(\frac{11}{0.8} + 10\right) = 4.75\,\text{N}$$

ה. התנאי לכך שגוף לא יתנתק מהמסלול הוא שהכוח הנורמלי N בנקודה F יהיה גדול מאפס, ולכן המהירות המקסימלית המותרת לגוף בנקודה F היא זו שעבורה מתקיים $N_F = 0$. בעזרת הביטוי שקיבלנו בסעיף א' נקבל:

$$0 = m\left(g - v_{F\max}^2 / R_2\right)$$
$$v_{F\max} = \sqrt{R_2 g} = 2\,\text{m/s}$$

כעת נשתמש בחוק שימור האנרגיה בין הנקודות A ו-F:

$$mgh_{A\max} + \tfrac{1}{2}mv_A^2 = mgh_F + \tfrac{1}{2}mv_{F\max}^2$$
$$\Rightarrow h_{A\max} + 0 = h_F + \frac{v_{F\max}^2}{2g} = 0.5 + \frac{2^2}{20} = 0.7\,\text{m}$$

פתרון שאלה 2\פרק 6

א. נשתמש בחוק שימור האנרגיה בין שני מצבים, 1 ו-2:

$$mgh_1 + \tfrac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \tfrac{1}{2}mv_2^2$$

נבחר את מצב 1 בנקודה A, את מצב 2 בנקודה כלשהי על המסלול, את מישור הייחוס בנקודה A ונקבל:

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 - 2gh_2}$$

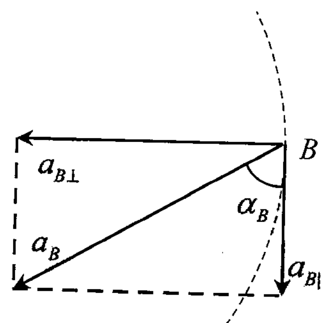
לכן נקבל:

$$v_B=\sqrt{v_A^2-2gh_B}=\sqrt{10^2-20(2)}=\sqrt{60}\,\mathrm{m/s}$$

$$v_C=\sqrt{v_A^2-2gh_C}=\sqrt{10^2-20(4)}=\sqrt{20}\,\mathrm{m/s}$$

$$v_E=\sqrt{v_A^2-2gh_E}=\sqrt{v_A^2-2g(\ell-\ell\cos 60)}=$$
$$=\sqrt{10^2-20(2)(1-0.5)}=\sqrt{80}\,\mathrm{m/s}$$

ב. בנקודה B יש לתאוצה שני רכיבים (ראה תרשים): הראשון ניצב למסלול (בכיוון מרכז המעגל), $a_\perp$, והשני מקביל למסלול (בכיוון למשיק), $a_\|$:



$$a_{B\perp}=\frac{v_B^2}{\ell}=\frac{60}{2}=30\,\mathrm{m/s^2}$$

$$a_{B\|}=\Sigma F_\|/m=-mg/m=-10\,\mathrm{m/s^2}$$

$$a_B=\sqrt{30^2+10^2}=31.62\,\mathrm{m/s^2}$$

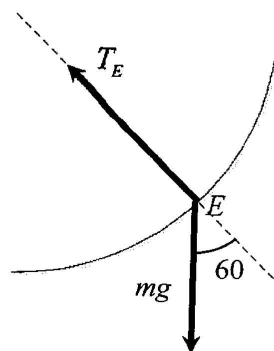
$$\tan\alpha_B=30/10 \qquad \Rightarrow \alpha_B=71.57^\circ$$

בנקודה C:

$$a_{C\perp}=\frac{v_C^2}{\ell}=\frac{20}{2}=10\,\mathrm{m/s^2}$$

$$a_{C\|}=\Sigma F_\|/m=0$$

ב. בנקודה E פועלים הכוחות המתוארים בתרשים הבא:

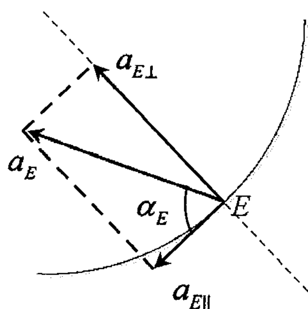


$$a_{E\perp}=\frac{v_E^2}{\ell}=\frac{80}{2}=40\,\mathrm{m/s^2}$$

$$a_{E\|}=\frac{\Sigma F_\|}{m}=\frac{-mg\sin 60}{m}=-8.66\,\mathrm{m/s^2}$$

$$a_E=\sqrt{40^2+8.66^2}=40.92\,\mathrm{m/s^2}$$

$$\tan\alpha_E=\frac{40}{8.66} \qquad \Rightarrow \alpha_E=77.78^\circ$$



ג. בנקודה A:

$$T_A-mg=mv_A^2/\ell$$
$$\Rightarrow T_A=m\left(v_A^2/\ell+g\right)=12\,\mathrm{N}$$

בנקודה B:

$$T_B=mv_B^2/\ell=6\,\mathrm{N}$$

בנקודה C:

$$T_C+mg=mv_C^2/\ell$$
$$\Rightarrow T_C=m\left(v_C^2/\ell-g\right)=0$$

בנקודה E:

$$T_E-mg\cos 60=mv_E^2/\ell$$
$$\Rightarrow T_A=m\left(v_E^2/\ell+g\cos 60\right)=9\,\mathrm{N}$$

ד. כשהגוף בנקודה A, נקבל מהחוק השני של ניוטון:

$$T_A=mv_A^2/\ell+mg$$

ובנקודה C:

$$T_C=mv_A^2/\ell-mg$$

משתי המשוואות האחרונות מתקבל:

$$T_A - T_C = \frac{m}{\ell}\left(v_A^2 - v_C^2\right) + 2mg \qquad (1)$$

כעת נשתמש בחוק שימור האנרגיה בין הנקודות A ו- C:

$$mgh_A + \tfrac{1}{2}mv_A^2 = mgh_C + \tfrac{1}{2}mv_C^2$$
$$\Rightarrow 0 + \tfrac{1}{2}v_A^2 = gh_C + \tfrac{1}{2}v_C^2$$
$$\Rightarrow v_A^2 - v_C^2 = 2gh_C = 2g(2\ell) = 4g\ell$$

כאשר הצבנו $h_C = 2\ell$. נציב את המשוואה האחרונה במשוואה 1 ונקבל:

$$T_A - T_C = \frac{m}{\ell}(4g\ell) + 2mg = 6mg$$
$$\Rightarrow T_A = T_C + 6mg$$

פתרון שאלה 3\פרק 6

א. מתקיים:

$$v_1 = \omega a$$
$$v_2 = 2\omega a$$
$$v_3 = 3\omega a$$

לכן מתקיים: $v_3 > v_2 > v_1$ ונקבל:

$$v_3 / v_2 / v_1 = 3/2/1$$

ב. מתקיים:

$$\Sigma F_1 = m\omega^2 a$$
$$\Sigma F_2 = m\omega^2 (2a) = 2m\omega^2 a$$
$$\Sigma F_3 = m\omega^2 (3a) = 3m\omega^2 a$$

לכן מתקיים: $\Sigma F_3 > \Sigma F_2 > \Sigma F_1$ כך שנקבל:

$$\Sigma F_3 / \Sigma F_2 / \Sigma F_1 = 3/2/1$$

ג. מתקיים:

$$T_3 = m\omega^2 (3a) = 3m\omega^2 a$$
$$T_2 - T_3 = m\omega^2 (2a) \qquad \Rightarrow T_2 = 5m\omega^2 a$$
$$T_1 - T_2 = m\omega^2 a \qquad \Rightarrow T_1 = 6m\omega^2 a$$

לכן מתקיים גם:

$$T_1 / T_2 / T_3 = 6/5/3$$

ד. מאחר והמתיחות בחוט 1 היא הגדולה ביותר, המהירות הזוויתית המקסימלית המותרת על מנת שלא ייקרע אף אחד מהחוטים היא המהירות הזוויתית שעבורה מתקיים: $T_1 = 3\,\text{N}$. מאחר ו- $T_1 = 6m\omega^2 a$ נקבל:

$$6m\omega_{max}^2 a = T_{max}$$
$$\Rightarrow \omega_{max} = \sqrt{\frac{T_{max}}{6ma}} = \sqrt{\frac{3}{6(0.05)(0.1)}} = 10\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

פתרון שאלה 4\פרק 6

א. המהירות המינימלית של הגוף בנקודה A ($v_{0\min}$) המאפשרת לגוף להגיע לנקודה B, היא המהירות שעבורה מתקיים $v_B = 0$. על מנת לחשב מהירות זו נשתמש במשפט עבודה-אנרגיה בין הנקודות A ו- B ונקבל:

$$(\Sigma F)_{\parallel}\Delta x_{AB} = \tfrac{1}{2}mv_B^2 - \tfrac{1}{2}mv_A^2$$
$$(-\mu_k mg)(8R) = 0 - \tfrac{1}{2}mv_{0\min}^2$$
$$\Rightarrow v_{0\min} = \sqrt{16\mu_k Rg} = 4\sqrt{\mu_k Rg}$$

ב. המהירות המינימלית של הגוף בנקודה A ($v_{A\min}$) המאפשרת לגוף להגיע לנקודה D, היא המהירות שעבורה המהירות בנקודה D שווה למהירות הקריטית שהיא $\sqrt{Rg}$. על מנת לחשב את $v_{A\min}$ נשתמש במשפט עבודה-אנרגיה בין הנקודות A ו- D כאשר $v_D = \sqrt{Rg}$:

$$W_{f_k}(A \to B) + W_{mg}(A \to D) = \tfrac{1}{2}mv_D^2 - \tfrac{1}{2}mv_A^2$$
$$\Rightarrow -(\mu_k \not{m} g)(8R) + (\not{m} gh_A - \not{m} gh_D) =$$
$$= \tfrac{1}{2}\not{m}(Rg) - \tfrac{1}{2}\not{m}v_{A\min}^2$$

נבחר את מישור הייחוס להיות המישור העובר בנקודה A ונקבל: $h_A = 0$ ו- $h_D = 2R$. לכן נקבל:

$$-(\mu_k g)(8R)-2Rg=\tfrac{1}{2}(Rg)-\tfrac{1}{2}v_{A\min}^2$$
$$\Rightarrow v_{A\min}=\sqrt{16\mu_k Rg+5Rg}=$$
$$=\sqrt{Rg(16\mu_k+5)}$$

ג. בנקודה D מתקיים (על פי החוק השני של ניוטון):

$$N_D+mg=mv_D^2/R$$

על מנת שהגוף יפעיל בנקודה D על המסלול כוח השווה ל- $3mg$ צריך להתקיים $N_D=3mg$. נציב במשוואה האחרונה ונקבל:

$$3mg+mg=mv_D^2/R\ \Rightarrow v_D=2\sqrt{Rg}$$

כעת, על מנת לחשב את v_A, נשתמש במשפט עבודה-אנרגיה בין הנקודות A ו-D כאשר $v_D=2\sqrt{Rg}$:

$$W_{f_k}(A\to B)+W_{mg}(A\to D)=\tfrac{1}{2}mv_D^2-\tfrac{1}{2}mv_A^2$$
$$\Rightarrow -(\mu_k mg)(8R)+(mgh_A-mgh_D)=$$
$$=\tfrac{1}{2}m(4Rg)-\tfrac{1}{2}mv_A^2$$

נבחר את מישור הייחוס להיות המישור העובר בנקודה A ונקבל: $h_A=0$ ו- $h_D=2R$. לכן נקבל:

$$\Rightarrow -(\mu_k g)(8R)-2Rg=\tfrac{1}{2}(4Rg)-\tfrac{1}{2}v_A^2$$
$$\Rightarrow -16\mu_k Rg-4Rg=4Rg-v_A^2$$
$$\Rightarrow v_A^2=8Rg+16\mu_k Rg$$
$$\Rightarrow v_A=\sqrt{8Rg(1+2\mu_k)}$$

ד. בשני הסעיפים, ב' ו-ג', הגוף עוזב את המסלול בנקודה D במהירות אופקית, ולכן תנועתו החל מרגע עזיבת המסלול תהייה זריקה אופקית. בשל כך, בשני הסעיפים ב' ו-ג', הזמן שעובר מרגע עזיבת הגוף את המסלול החצי מעגלי בנקודה D ועד לפגיעה בקרקע זהה ונתון על ידי:

$$2R=\tfrac{1}{2}gt^2$$
$$\Rightarrow t=2\sqrt{R/g}$$

בסעיף ב', הגוף עוזב את המסלול בנקודה D במהירות אופקית שגודלה $\sqrt{Rg}$. לכן לאחר עזיבת המסלול בנק' D הגוף פוגע בקרקע בנקודה על הקטע AB שמרחקה מהנק' B נתון על ידי:

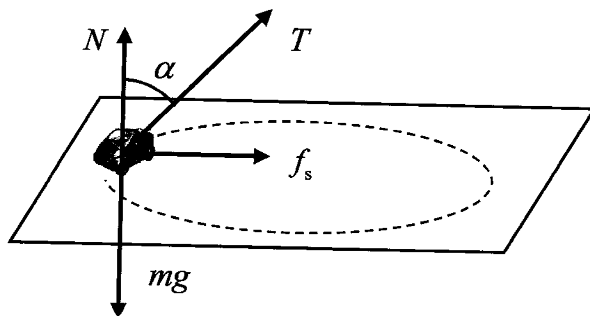
$$\Delta x=v_D t=\sqrt{Rg}\left(2\sqrt{\frac{R}{g}}\right)=2R$$

בסעיף ג', הכדור עוזב את המסלול בנקודה D במהירות אופקית שגודלה $2\sqrt{Rg}$. לכן במקרה זה מרחק נקודת הפגיעה בקטע AB מהנקודה B נתון על ידי:

$$\Delta x=v_D t=2\sqrt{Rg}\left(2\sqrt{\frac{R}{g}}\right)=4R$$

פתרון שאלה 5\פרק 6

א. על המכונית פועלים הכוחות הבאים: כוח הכובד mg, המתיחות בחוט T, הכוח הנורמלי N, וכוח החיכוך הסטטי כלפי מרכז המעגל f_s, כפי שמתואר בתרשים הבא:



ב. נבחר את ציר y בכיוון הניצב למשטח כשכוונו החיובי כלפי מעלה, ואת ציר x בכיוון מרכז המסלול המעגלי.

(1) על מנת לחשב את הכוח הנורמלי ניעזר בכך ש- $\Sigma F_y=0$, ונקבל:

$$N+T\cos\alpha=mg$$
$$\Rightarrow N=mg-T\cos\alpha=6-2(0.8)=4.4\,\text{N}$$

כאשר השתמשנו בעבודה ש- $\cos\alpha = 1.6/2 = 0.8$.

(2) נרשום את החוק השני של ניוטון לגבי הכוחות שפועלים בכיוון מרכז המעגל ונקבל:

$$T\sin\alpha + f_s = mv^2/R$$

מתקיים גם:

$$R = \sqrt{\ell^2 - h^2} = \sqrt{2^2 - 1.6^2} = 1.2\,\text{m}$$

$$\sin\alpha = R/\ell = 0.6$$

נציב T, R ו- $\sin\alpha$ במשוואה הנ"ל ונקבל:

$$2(0.6) + f_s = 0.6\frac{2^2}{1.2} \Rightarrow f_s = 0.8\,\text{N}$$

ג.

(1) המתיחות בחוט גדלה וזה משום שהכוח השקול הפועל בכיוון המרכז (הכוח הצנטריפטלי) גדל.

(3) מכיוון שמתקיים: $N + T\cos\alpha = mg$, נקבל שככל ש- T גדל, הכוח הנורמלי קטן.

ד. המכונית מתנתקת מהמשטח כאשר $N = 0$ ובמקרה זה מתקיים גם ש- $f_s = 0$. לכן נקבל

בכיוון ציר x: $T\sin\alpha = mv_{max}^2/R$

בכיוון ציר y: $T\cos\alpha = mg$

נחלק את שתי המשוואות האחרונות זו בזו:

$$\tan\alpha = \frac{v_{max}^2}{Rg}$$

$$\Rightarrow v_{max} = \sqrt{Rg\tan\alpha} =$$

$$= \sqrt{(1.2)(10)\left(\frac{1.2}{1.6}\right)} = 3\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ה. מהסעיף הקודם מתקבל:

$$T = mg/\cos\alpha = 6/0.8 = 7.5\,\text{N}$$

פתרון שאלה 6\פרק 6

א. נשתמש בחוק שימור האנרגיה בקטע שבין הנקודה A וכל אחת מהנקודות B, C ו- D.

נבחר את מישור הייחוס להיות המישור האופקי שעובר בנקודה O.

בנקודה B נקבל:

$$mgh_A + \tfrac{1}{2}mv_A^2 = mgh_B + \tfrac{1}{2}mv_B^2$$

$$\Rightarrow v_B = \sqrt{2g(h_A - h_B) + v_A^2} =$$

$$= \sqrt{2g(\ell\sin 30 - 0) + v_A^2} =$$

$$= \sqrt{2(10)(0.4\sin 30) + 4^2} = \sqrt{20} = 4.47\,\text{m/s}$$

בנקודה C:

$$mgh_A + \tfrac{1}{2}mv_A^2 = mgh_C + \tfrac{1}{2}mv_C^2$$

$$\Rightarrow v_C = \sqrt{2g(h_A - h_C) + v_A^2} =$$

$$= \sqrt{2g(2\ell\sin 30) + v_A^2} =$$

$$= \sqrt{2(10)(0.8\sin 30) + 4^2} =$$

$$= \sqrt{24} = 4.9\,\text{m/s}$$

בנקודה D מתקיים: $v_D = v_B$.

ב. על מנת לחשב את המתיחות בחוט בנקודה A נכתוב את החוק השני של ניוטון עבור הכדור בנקודה זו:

$$mg\sin 30 + T_A = m\frac{v_A^2}{R}$$

$$\Rightarrow T_A = m\left(\frac{v_A^2}{R} - g\sin 30\right) =$$

$$= 0.1\left(\frac{4^2}{0.4} - 5\right) = 3.5\,\text{N}$$

בנקודה B:

$$T_B = m\frac{v_B^2}{R} = 0.1\frac{20}{0.4} = 5\,\text{N} = T_D$$

בנקודה C:

$$T_C - mg\sin 30 = m\frac{v_C^2}{R}$$

$$\Rightarrow T_C = m\left(\frac{v_C^2}{R} + g\sin 30\right) =$$

$$= 0.1\left(\frac{24}{0.4} + 5\right) = 6.5\,\text{N}$$

ג. בנקודה A:

$a_t = 0$

$a_r = v_A^2 / R = 4^2 / 0.4 = 40\,\mathrm{m/s^2}$

בנקודה B:

$a_t = g\sin 30 = 5\,\mathrm{m/s^2}$

$a_r = v_B^2 / R = 20 / 0.4 = 50\,\mathrm{m/s^2}$

בנקודה C:

$a_t = 0$

$a_r = v_C^2 / R = 24 / 0.4 = 60\,\mathrm{m/s^2}$

בנקודה D:

$a_t = -g\sin 30 = -5\,\mathrm{m/s^2}$

$a_r = v_D^2 / R = 20 / 0.4 = 50\,\mathrm{m/s^2}$

ד. המהירות המינימלית הדרושה לכדור בנקודה A על מנת להשלים סיבוב שלם היא המהירות שעבורה מתקיים $T_A = 0$. מהחוק השני של ניוטון נקבל עבור הכדור בנקודה זו:

$$mg\sin 30 + T_A = m\frac{v_A^2}{R}$$

$$\Rightarrow mg\sin 30 + 0 = m\frac{v_{A\min}^2}{R}$$

$$\Rightarrow v_{A\min} = \sqrt{Rg\sin 30} = \sqrt{0.4(10)(0.5)} = \sqrt{2}$$

ה. התנאי לכך שהכדור ישלים סיבוב שלם הוא שמהירותו בנקודה A תקיים $v_A \geq v_{A\min} = \sqrt{2}\,\mathrm{m/s}$. על מנת לחשב מהירות התחלתית מינימלית זו, נשתמש במשפט עבודה-אנרגיה לאורך סיבוב שלם מ-A וחזרה ל-A, כאשר מתקיים $v_2 = \sqrt{2}\,\mathrm{m/s}$:

$$\Sigma W_F(A \to A) = \tfrac{1}{2}mv_2^2 - \tfrac{1}{2}mv_1^2$$

$$\Rightarrow W_{f_k}(A \to A) + W_{mg}(A \to A) = \tfrac{1}{2}mv_2^2 - \tfrac{1}{2}mv_1^2$$

$$\Rightarrow -(\mu_k mg\cos 30)(2\pi R) + 0 = \tfrac{1}{2}mv_2^2 - \tfrac{1}{2}mv_1^2$$

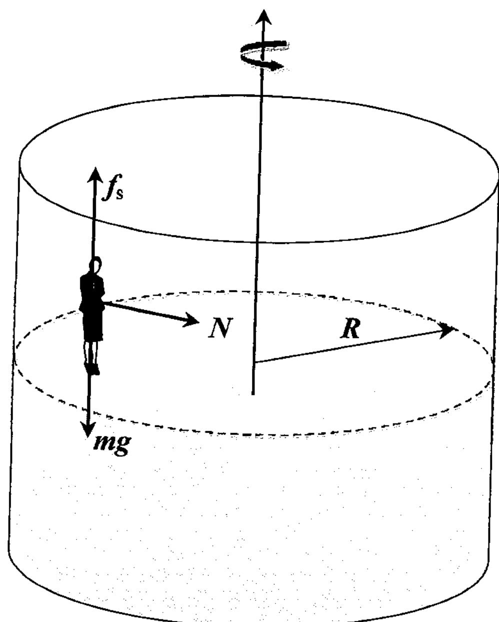
$$\Rightarrow v_1 = \sqrt{v_2^2 + 2(\mu_k g\cos 30)(2\pi R)} =$$

$$\Rightarrow v_{A\min} = \sqrt{\sqrt{2}^2 + 2(2\cos 30)(0.8\pi)} =$$

$$= 3.27\,\mathrm{m/s}$$

פתרון שאלה 7\פרק 6

א.



ב. על מנת שהאנשים לא יחליקו כלפי מטה, צריך להתקיים:

$$f_s \leq f_{s\max} = \mu_s N$$

מאחר שבכיוון האנכי מתקיים $f_s = mg$, התנאי שהאנשים לא יחליקו הוא:

$$(1)\quad mg \leq \mu_s N$$

מצד שני, על פי החוק השני של ניוטון בתנועה המעגלית מתקיים:

$$(2)\quad N = m\omega^2 R$$

על ידי הצבת משוואה (2) במשוואה (1) נקבל שהתנאי ל"אי החלקה" כלפי מטה הוא:

$$mg \leq \mu_s(m\omega^2 R)$$

$$\Rightarrow \omega \geq \sqrt{\frac{g}{\mu_s R}} \qquad \Rightarrow \omega_{\min} = \sqrt{\frac{g}{\mu_s R}}$$

ג. כעת mg ו-f_s אינם משתנים $(f_s = mg)$. לעומת זאת הכוח הנורמלי N משתנה ונעשה:

$$N = m(2\omega_{\min})^2 R = m\left(2\sqrt{\frac{g}{\mu_s R}}\right)^2 R = \frac{4mg}{\mu_s}$$

ד. על מנת שהאנשים לא יפלו מהגליל מהירות האנשים בנקודה C חייבת להיות גבוהה

מהמהירות הקריטית $v_{min}=\sqrt{Rg}$. לכן, המהירות הזוויתית המינימלית המותרת על מנת שהאנשים לא יפלו מהגליל היא:

$$\omega_{1\min}=\frac{v_{\min}}{R}=\sqrt{\frac{g}{R}}$$

לעומת זה, הנקודות שבהן קיימת הסתברות גבוהה שהאנשים יחליקו הן B ו-D. התנאי שהם לא יחליקו בנקודות אלה הוא:

$$mg\le f_{s\max}=\mu_s N$$

כאשר $N=m\omega^2R$, ולכן התנאי שהאנשים לא יחליקו בנקודות אלה הוא:

$$mg\le\mu_s N=\mu_s(m\omega^2R)$$

$$\Rightarrow\omega\ge\sqrt{\frac{g}{\mu_s R}}\qquad\Rightarrow\omega_{2\min}=\sqrt{\frac{g}{\mu_s R}}$$

פתרון שאלה 8\פרק 6

א. נבחר את ציר y בכיוון ניצב לפני הקרקע ואת ציר x בכיוון אופקי ונקבל מהחוק הראשון של ניוטון:

בכיוון ציר y:

$$\Sigma F_y=0$$

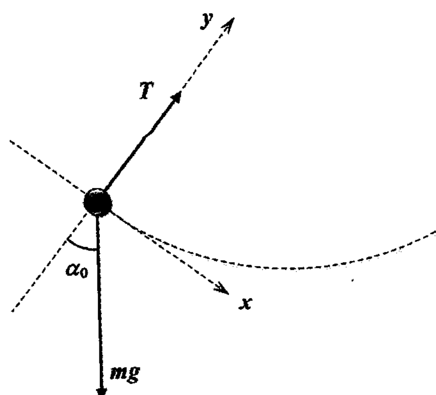
$$\Rightarrow T_1\cos\alpha_0=mg\qquad\Rightarrow T_1=mg/\cos\alpha_0$$

בכיוון ציר x:

$$\Sigma F_x=0$$

$$\Rightarrow T_2=T_1\sin\alpha_0=mg\tan\alpha_0$$

ב. בתרשים הבא מתוארים הכוחות הפועלים על הכדור ברגע בו החוט נקרע:



מכיוון שמהירות הכדור ברגע שבו החוט 2 נקרע היא אפס נקבל: $a_r=v^2/\ell=0$, כלומר תאוצת הכדור בכיוון מרכז הסיבוב (בכיוון ציר y שבתרשים למעלה) באותו רגע היא אפס. לעומת זאת נקבל שתאוצת הכדור בכיוון המשיק למסלול המעגלי (בכיוון ציר x בתרשים למעלה) היא:

$$a_t=\frac{\Sigma F_t}{m}=\frac{mg\sin\alpha_0}{m}=g\sin\alpha_0$$

ג. על פי ההסבר שניתן בסעיף הקודם, ברגע קריעת החוט 2 הכוח השקול בכיוון מרכז הסיבוב מתאפס ($\Sigma F_r=0$). לכן נקבל:

$$T_1=mg\cos\alpha_0$$

ד. בתנועתו המעגלית, על הכדור פועלים שני כוחות: המתיחות בחוט, T, וכוח הכובד, mg.

עבודת המתיחות בחוט לאורך המסלול המעגלי היא אפס, כי כוח זה ניצב למסלול בכל נקודותיו. לעומת זאת כוח הכובד הוא כוח משמר, ולכן בתנועת הכדור לאורך המסלול המעגלי מתקיים חוק שימור האנרגיה המכנית.

על מנת לחשב את מהירות הגוף בנקודה B נשתמש בחוק שימור האנרגיה המכנית בין A ו-B:

$$\tfrac{1}{2}mv_B^2+mgh_B=\tfrac{1}{2}mv_A^2+mgh_A$$

נבחר את מישור הייחוס בנקודה C ונקבל: $h_B=-\ell$ ו- $h_A=-\ell\cos\alpha_0$, לכן נקבל:

$$0+g(-\ell\cos\alpha_0)=\tfrac{1}{2}v_B^2+g(-\ell)$$

$$\Rightarrow v_B=\sqrt{2g\ell(1-\cos\alpha_0)}$$

ה. נשתמש בחוק השני של ניוטון עבור הכדור בהיותו בנקודה C בתנועתו המעגלית ונקבל:

$$T_B-mg=\frac{mv_B^2}{\ell}=\frac{m\left[2g\ell(1-\cos\alpha_0)\right]}{\ell}$$

$$\Rightarrow T_B=mg+2mg-2mg\cos\alpha_0=$$

$$=mg(3-2\cos\alpha_0)$$

ו.

(1) מאחר וכיוון התאוצה הוא בכיוון מרכז הסיבוב, נבחר את ציר x בכיוון זה, ואת ציר y נקבע בניצב לו. בכיוון ציר y מתקיים שווי משקל, לכן נקבל:

$$T\cos\alpha_0 = mg \qquad \Rightarrow T = \frac{mg}{\cos\alpha_0}$$

(2) בכיוון הרדיאלי (בכיוון ציר x) מתקיים:

$$T\sin\alpha_0 = m\omega^2(\ell\sin\alpha_0)$$
$$\Rightarrow T = m\omega^2\ell$$

נציב T מהסעיף הקודם ונקבל:

$$\frac{mg}{\cos\alpha_0} = m\omega^2\ell \;\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{\ell\cos\alpha_0}}$$

לכן נקבל שזמן המחזור (T_P):

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell\cos\alpha_0}{g}}$$

פתרון שאלה 9\פרק 6

א. נשתמש בחוק שימור האנרגיה עבור הקטע שבין הנקודות A ו- B ונקבל:

$$\tfrac{1}{2}Mv_B^2 = Mgh_A$$
$$\Rightarrow v_B = \sqrt{2gh_A} = \sqrt{100} = 10\,\text{m/s}$$

ב. הכוח שהעגלה מפעילה על המסלול בנקודה B שווה לכוח הנורמלי, N, שהמסלול מפעיל על העגלה בנקודה זו ומנוגד לו בכיוונו. על מנת לחשב את N, נשתמש בחוק השני של ניוטון עבור העגלה:

$$N_B - Mg = M\frac{v_B^2}{R}$$
$$\Rightarrow N_B = M\left(\frac{v_B^2}{R}+g\right) = 2\left(\frac{100}{1}+10\right) =$$
$$= 220\,\text{N}$$

לכן העגלה מפעילה על המסלול בנקודה B כוח שגודלו $220\,\text{N}$ וכיוונו כלפי מטה.

ג. הכוח השקול הפועל על החרוז בתנועתו המעגלית מכוון תמיד לכיוון מרכז הסיבוב. כיוון כוח הכובד הפועל על החרוז מכוון תמיד כלפי מטה, לכן על מנת שהכוח השקול הפועל על החרוז בנקודה B יהיה בכיוון מרכז הסיבוב (כלפי מעלה בנקודה B), הקפיץ בנקודה זו צריך להיות מתוח.

ד. על מנת לחשב את שיעור התארכות הקפיץ בנקודה B, נשתמש בחוק השני של ניוטון בעבור החרוז בנקודה זו:

$$k\Delta\ell - mg = m\frac{v_B^2}{R}$$
$$\Rightarrow \Delta\ell = \frac{mv_B^2}{kR} + \frac{mg}{k} =$$
$$= \frac{(0.05)(100)}{100(1)} + \frac{(0.05)(10)}{100} = 0.055\,\text{m}$$

ה. שימור האנרגיה בין הנקודות A ו-D:

$$\tfrac{1}{2}\cancel{m}v_D^2 + \cancel{m}gh_D = \tfrac{1}{2}\cancel{m}v_A^2 + \cancel{m}gh_A$$
$$\tfrac{1}{2}v_D^2 + g(2) = 0 + g(5)$$
$$\Rightarrow v_D = \sqrt{60}\,\text{m/s}$$

ו. נחשב קודם את הכוח השקול הפועל על החרוז בנקודה זו:

$$\Sigma F = mv_D^2/R = 0.05(60)/1 = 3\,\text{N}$$

מכיוון ש- $mg = 0.05(10) = 0.5\,\text{N}$, על מנת לקיים את התנועה המעגלית דרוש כוח נוסף (שגודלו $2.5\,\text{N}$) שיפעל בכיוון מרכז הסיבוב (כלפי מטה). כוח זה, שגודלו $2.5\,\text{N}$, מסופק על ידי הקפיץ. לכן בנקודה זו הקפיץ צריך להיות מכווץ כך שמתקיים:

$$k\Delta\ell = 2.5\,\text{N}$$
$$\Rightarrow \Delta\ell = 2.5/100 = 0.025\,\text{m} = 2.5\,\text{cm}$$

פתרון שאלה 10\פרק 6

א. $\frac{v_2}{v_1}=\frac{\omega R_2}{\omega R_1}=\frac{2R_0}{R_0}=2$

ב. $\frac{a_2}{a_1}=\frac{\omega^2 R_2}{\omega^2 R_1}=\frac{2R_0}{R_0}=2$

ג. $\frac{\Sigma F_2}{\Sigma F_1}=\frac{ma_2}{ma_1}=2$

ד. מבין השניים, המטבע שניתק ראשון מהתקליט יהיה זה שלצורך קיום התנועה המעגלית נדרש כוח שקול יותר גדול.

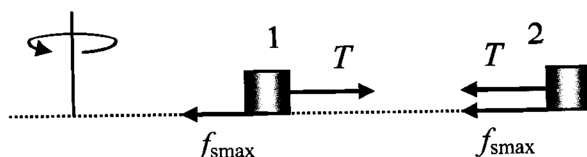
החיכוך סטטי הפועל על מטבע זה בכיוון מרכז התקליט יהיה גדול יותר, ואם כוח זה יהיה גדול יותר מ- $f_{s\max}$, המטבע יתנתק מהתקליט.

על פי סעיף ג', הכוח השקול הפועל על מטבע 2 גדול יותר, לכן מטבע זה הוא המתנתק ראשון.

ה. על מנת שמטבע 2 לא יתנתק, צריך להתקיים שהכוח הצנטריפטלי שפועל עליו קטן או שווה ל- $f_{s\max}$:

$$m\omega^2 R_2 \le f_{s\max}$$
$$m\omega^2(2R_0) \le \mu_s mg$$
$$\Rightarrow \omega \le \sqrt{\frac{\mu_s g}{2R_0}}$$
$$\Rightarrow \omega_{\max}=\sqrt{\frac{\mu_s g}{2R_0}} \quad \Rightarrow f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu_s g}{2R_0}}$$

ו. הכוחות הפועלים על שני המטבעות בכיוון רדיאלי ברגע שהם על סף התנתקות מתוארים בתרשים הבא:



עבור המטבע 2 מתקיים:

$$T+f_{s\max}=m\omega_{\max}^2(2R_0)$$

עבור המטבע 1 מתקיים:

$$f_{s\max}-T=m\omega_{\max}^2(R_0)$$

כאשר $f_{s\max}=\mu_s mg$.

נחבר את שתי המשוואות האחרונות:

$$2f_{s\max}=3m\omega_{\max}^2 R_0$$
$$2(\mu_s mg)=3m\omega_{\max}^2 R_0 \Rightarrow \omega_{\max}=\sqrt{\frac{2\mu_s g}{3R_0}}$$

פתרון שאלה 11\פרק 6

א. גודל הכוח הצנטריפטלי הדרוש לקיום התנועה המעגלית של הגוף המונח על הדיסק הוא:

$$F_C=m_1\omega^2 R=0.2(2.5)^2(0.4)=0.5\text{N}$$

מכיוון שהמתיחות בחוט שווה לכוח הכובד הפועל על המסה m_2, שהוא 1N, נקבל שכוח החיכוך הסטטי (f_s) הפועל על הגוף צריך להיות רדיאלי כלפי חוץ ולקיים:

$$m_2 g-f_s=0.5$$
$$\Rightarrow f_s=m_2 g-0.5=1-0.5=0.5\text{N}$$

ב. מכיוון שגודל מהירות הגוף קבוע, נקבל שהתאוצה בכיוון המשיק למסלול המעגלי היא אפס $(a_{\parallel}=0)$. לכן, על פי החוק השני של ניוטון נקבל שהכוח השקול הפועל על הגוף בכיוון המשיק הוא אפס. לכן לא קיים כוח חיכוך בכיוון זה.

ג. על מנת שכוח החיכוך הסטטי יתאפס, הגוף צריך לנוע במהירות זוויתית המתאימה לכוח צנטריפטלי השווה למתיחות בחוט, שהיא $m_2 g$, כלומר צריך להתקיים:

$$m_2 g=m_1\omega^2 R$$
$$\Rightarrow \omega=\sqrt{\frac{m_2 g}{m_1 R}}=\sqrt{\frac{(0.1)10}{(0.2)0.4}}=3.53\,\text{rad/s}$$

ד. המהירות המקסימלית המותרת על מנת שהגוף לא יתנתק מהמסלול המעגלי היא המהירות שבה כוח החיכוך הסטטי הפועל על הגוף מכוון פנימה לכיוון מרכז הסיבוב וגודלו מקסימלי. במצב זה מתקיים:

$$m_2 g + f_{s\max} = m_1 \omega_{\max}^2 R$$

$$m_2 g + \mu_s m_1 g = m_1 \omega_{\max}^2 R$$

$$\Rightarrow \omega_{\max} = \sqrt{\frac{(m_2 + \mu_s m_1) g}{m_1 R}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(0.1 + 0.4 \times 0.2)10}{0.2(0.4)}} = 4.74\,\text{rad/s}$$

ה. המהירות המינימלית המותרת על מנת שהגוף לא יתנתק מהמסלול המעגלי היא המהירות שעבורה כוח החיכוך הסטטי הפועל על הגוף מכוון החוצה וגודלו מקסימלי. במצב זה מתקיים:

$$m_2 g - f_{s\max} = m_1 \omega_{\min}^2 R$$

$$m_2 g - \mu_s m_1 g = m_1 \omega_{\min}^2 R$$

$$\Rightarrow \omega_{\min} = \sqrt{\frac{(m_2 - \mu_s m_1) g}{m_1 R}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(0.1 - 0.4 \times 0.2)10}{0.2(0.4)}} = 1.58\,\text{rad/s}$$

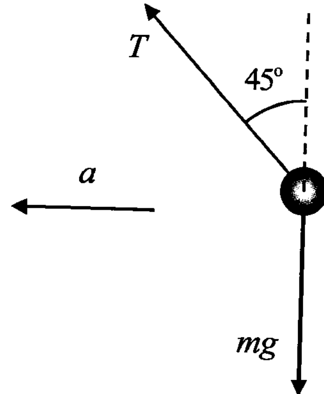
פתרון שאלה 12\פרק 6

א. על הכדור פועלים שני כוחות: כוח הכובד mg והמתיחות בחוט T. מכיוון שהכדור נמצא במצב שווי משקל, T ו- mg צריכים לבטל זה את זה. לכן הם צריכים להיות שווים בגודלם ומנוגדים בכיוונם (כלומר נמצאים על אותו קו ישר). דבר זה מתקיים רק אם הזווית בין החוט והאנך היא אפס. כלומר שבמקרה זה לא נוצרת זווית בין החוט ובין האנך.

ב.

(1) לא ניתן לקבוע לפי התרשים את כיוון תנועת העגלה. במצב המתואר בתרשים ב', העגלה יכולה להיות בתאוטה ימינה או בתאוצה שמאלה.

(2) בתרשים הבא מתואר הכדור והכוחות הפועלים עליו:



כיוון התאוצה הוא בכיוון הכוח השקול (שמאלה). על פי החוק השני של ניוטון מתקיים בכיוון זה: $T \sin 45 = ma$

בכיוון אנכי מתקיים: $T \cos 45 = mg$.

משתי המשוואות האחרונות מתקבל:

$$a = g \tan 45 = 10\,\text{m/s}^2$$

(3) מהסעיף הקודם מתקבל:

$$T = \frac{mg}{\cos 45} = 0.28\,\text{N}$$

ג.

(1) בכיוון מרכז הסיבוב מתקיים:

$$T \sin 45 = m \frac{v^2}{R}$$

ובכיוון אנכי מתקיים:

$$T \cos 45 = mg$$

משתי משוואות אלה נקבל:

$$\tan 45 = \frac{v^2}{Rg}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{Rg \tan 45} = \sqrt{16} = 4\,\text{m/s}$$

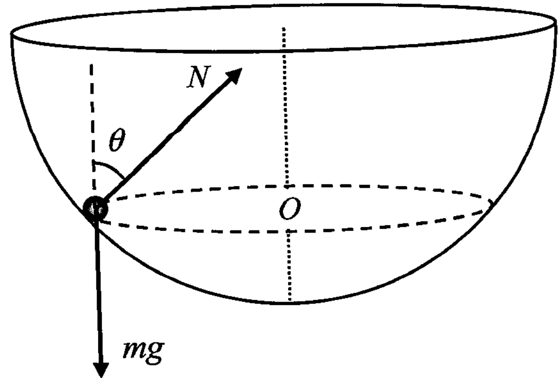
(2) מהסעיף הקודם:

$T\cos 45 = mg$

$$\Rightarrow T = \frac{mg}{\cos 45} = 0.28\,\text{N}$$

פתרון שאלה 13\פרק 6

א.



ב. על פי החוק השני של ניוטון, כיוון הכוח השקול הפועל על הכדור הוא בכיוון תאוצת הכדור. מכיוון שהכדור נע בתנועה מעגלית קצובה, כיוון התאוצה שלו הוא בכיוון מרכז המסלול המעגלי, כלומר (על פי התרשים בסעיף א') לכיוון הנקודה O. על כן, הכוח השקול הפועל על הכדור מכוון אל מרכז המסלול המעגלי O.

ג. עבור הכדור מתקיים בכיוון האנכי:

$$N\cos\theta = mg \quad \Rightarrow N = \frac{mg}{\cos\theta}$$

ד. על פי החוק השני של ניוטון, בתנועה המעגלית נקבל:

$$N\sin\theta = m\omega^2(R\sin\theta) \Rightarrow N = m\omega^2 R$$

נציב את N מהסעיף הקודם ונקבל:

$$\frac{mg}{\cos\theta} = m\omega^2 R \Rightarrow \cos\theta = \frac{g}{\omega^2 R}$$

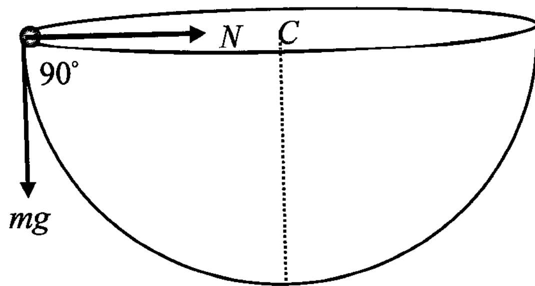
ה. לא. ניתן להסביר זאת בשתי גישות:

(1) גישה ראשונה: על פי המשוואה שהתקבלה בסעיף הקודם ($\cos\theta = g/\omega^2 R$), נקבל שעל מנת שיתקיים $\theta = 90^\circ$ צריך להתקיים:

$$\frac{g}{\omega^2 R} = \cos 90 = 0$$

זה קורה רק עבור $\omega = \infty$, וכמובן זה בלתי אפשרי.

(2) גישה שנייה: בדרך השלילה. אם נניח ש-$\theta = 90^\circ$, נקבל את המצב המתואר בתרשים הבא:



במצב זה ΣF בכיוון האנכי לא שווה לאפס, ולכן מצב זה אינו אפשרי.

ו. נחשב קודם, על ידי שימוש בחוק שימור האנרגיה, את מהירות הכדור בנקודה B:

$$\tfrac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B = \tfrac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A$$

נבחר את מישור הייחוס בנקודה C ונקבל:

$$\tfrac{1}{2}v_B^2 + g(-R) = 0 + g(-R\cos\theta)$$

$$\Rightarrow v_B = \sqrt{2Rg(1-\cos\theta)}$$

נשתמש כעת בחוק השני של ניוטון לתנועה המעגלית של הכדור בהיותו בנקודה B:

$$N_B - mg = m\frac{v_B^2}{R}$$

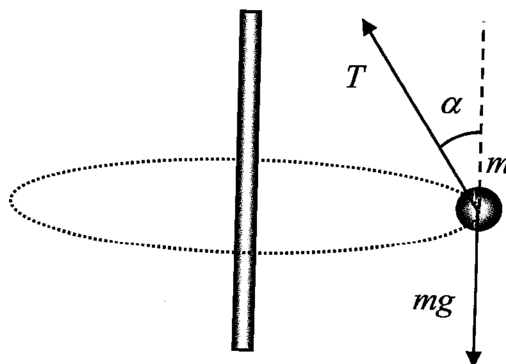
נציב v_B ונקבל:

$$N_B - mg = m\frac{2Rg(1-\cos\theta)}{R}$$

$$\Rightarrow N_B = mg(3-2\cos\theta)$$

פתרון שאלה 14\פרק 6

א. בתרשים הבא מתוארים הכוחות הפועלים על הכדור:



בכיוון אנכי מתקיימים שווי משקל, לכן נקבל:

(1) $T\cos\alpha = mg$

ובכיוון מרכז הסיבוב מתקיים החוק השני של ניוטון:

$T\sin\alpha = m\omega^2(\ell\sin\alpha) \Rightarrow T = m\omega^2\ell$

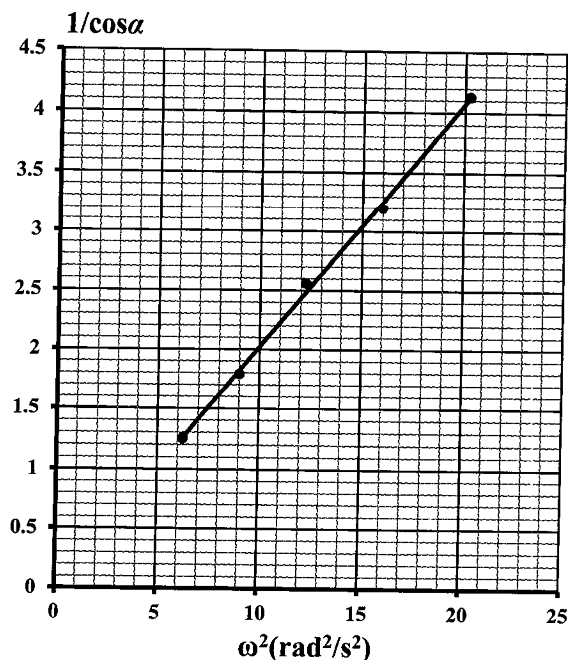
נציב את T מהמשוואה (1) במשוואה האחרונה ונקבל: $\dfrac{1}{\cos\alpha} = \dfrac{\ell}{g}\omega^2$

ב. על מנת לקבל קשר לינארי.

ג.

$1/\cos\alpha$	$\omega^2\left(\text{rad}^2/\text{s}^2\right)$	$\alpha(\circ)$	$\omega(\text{rad/s})$
1.25	6.25	37	2.5
1.79	9	56	3
2.56	12.25	66	3.5
3.20	16	72	4
4.13	20.25	76	4.5

מטבלה זו נצייר את הגרף הבא:



ד. נחשב קודם את שיפוע הגרף. לשם כך נבחר שתי נקודות על קו המגמה, לדוגמה $(7,1.4)$ ו- $(12,2.4)$. לכן שיפוע הגרף הוא:

$$\frac{2.4-1.4}{12-7} = 0.2$$

לפי הקשר שהתקבל בסעיף הקודם, שיפוע הגרף נתון על ידי הגודל ℓ/g. לכן נקבל:

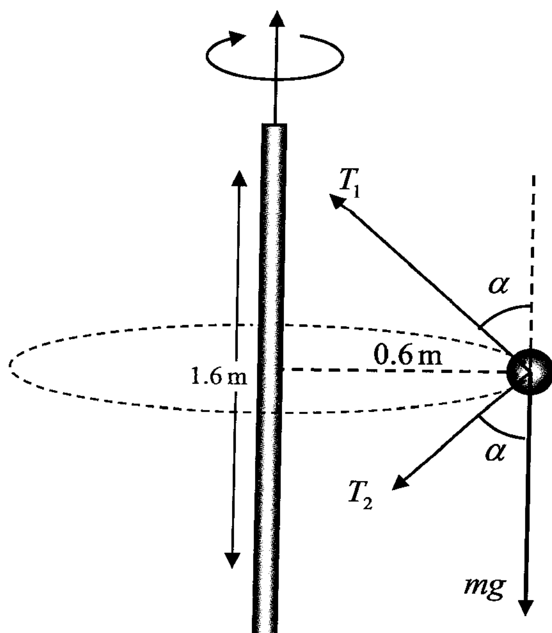
$$\ell/g = 0.2$$
$$\Rightarrow g = \ell/0.2 = 10\,\text{m/s}^2$$

ה. מהקשר: $\cos\alpha = \dfrac{g}{\omega^2\ell}$ נקבל שככל שמקטינים את ω, יגדל $\cos\alpha$. הערך הקטן ביותר עבור ω הוא זה שעבורו $\cos\alpha$ מקבל את הערך המקסימלי, כלומר 1, וזה קורה כאשר $\alpha = 0$. לכן נקבל:

$$\cos 0 = \frac{g}{\omega_{\min}^2\ell}$$
$$\Rightarrow \omega_{\min} = \sqrt{g/\ell} = \sqrt{5} = 2.23\,\text{rad/s}$$

פתרון שאלה 15\פרק 6

א. בתרשים הבא מתוארים הכוחות הפועלים על הכדור:



יש לשים לב שמתקיים:

$$R=\sqrt{1^2-0.8^2}=0.6\,\text{m}$$
$$\cos\alpha=0.8$$
$$\sin\alpha=0.6$$
$$\tan\alpha=0.75$$

בכיוון האנכי מתקיים שווי משקל, לכן בכיוון זה ניתן לרשום:

$$(1)\ \ T_1\cos\alpha=mg+T_2\cos\alpha$$

ובכיוון מרכז הסיבוב מתקיים החוק השני של ניוטון, לכן בכיוון זה:

$$(2)\ \ T_1\sin\alpha+T_2\sin\alpha=m\omega^2 r$$

ממשוואה 1 נקבל:

$$(3)\ \ T_2=T_1-\frac{mg}{\cos\alpha}$$

נציב במשוואה 2 ונקבל:

$$T_1\sin\alpha+\left(T_1-\frac{mg}{\cos\alpha}\right)\sin\alpha=m\omega^2 r$$
$$\Rightarrow(4)\ T_1=\frac{m\omega^2 r+mg\tan\alpha}{2\sin\alpha}=$$
$$=\frac{0.5(5)^2(0.6)+5(0.75)}{2(0.6)}=9.38\,\text{N}$$

נציב את T_1 במשוואה 3 ונקבל:

$$T_2=9.38-\frac{5}{0.8}=3.13\,\text{N}$$

ב.

(1) בגלל שמתקיים $T_1>T_2$, החוט 1 הוא זה שנקרע ראשון.

(2) על מנת לחשב את המהירות הזוויתית המקסימלית המותרת על מנת שהחוט 1 לא ייקרע, נציב $T_1=500\,\text{N}$ במשוואה 4 ונקבל:

$$500=\frac{0.5\omega_{max}^2(0.6)+5(0.75)}{2(0.6)}$$
$$\Rightarrow\omega_{max}=44.58\,\text{rad/s}$$
$$\Rightarrow f_{max}=\frac{\omega_{max}}{2\pi}=7.1\,\text{Hz}$$

ג. התדירות המינימלית היא זו שעבורה מתקיים $T_2=0$. ממשוואה 3 נקבל במקרה זה:

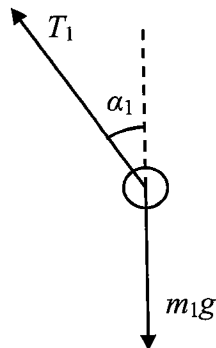
$$T_1=\frac{mg}{\cos\alpha}=\frac{5}{0.8}=6.25\,\text{N}$$

על מנת לחשב את התדירות המתאימה למתיחות זו ניעזר במשוואה 4:

$$T_1=\frac{m\omega^2 r+mg\tan\alpha}{2\sin\alpha}$$
$$\Rightarrow 6.25=\frac{0.5\omega_{min}^2(0.6)+5(0.75)}{2(0.6)}$$
$$\Rightarrow\omega_{min}=3.53\,\text{rad/s}$$
$$\Rightarrow f_{min}=\frac{\omega_{min}}{2\pi}=0.56\,\text{Hz}$$

פתרון שאלה 16\פרק 6

א. בתרשים הבא מתוארים הכוחות הפועלים על אחד הכדורים (הכדור 1 לדוגמה):



בכיוון אנכי מתקיים:

$$(1)\ \ T_1\cos\alpha_1=m_1 g$$

ובכיוון מרכז הסיבוב מתקיים:

$$T_1\sin\alpha_1=m_1\omega^2 r=m_1\omega^2(\ell_1\sin\alpha_1)$$
$$\Rightarrow(2)\ \ T_1=m_1\omega^2\ell_1$$

נציב את T_1 ממשוואה 1 במשוואה 2 ונקבל:

$$\frac{m_1 g}{\cos\alpha_1}=m_1\omega^2\ell_1$$
$$(3)\ \Rightarrow\cos\alpha_1=\frac{g}{\omega^2\ell_1}$$

ובאותה גישה נקבל:

$$\cos\alpha_2 = \frac{g}{\omega^2 \ell_2} \quad (4)$$

ב. מכיוון ש-$\ell_2 > \ell_1$, נקבל משני הקשרים (3) ו-(4) ש-$\cos\alpha_2 < \cos\alpha_1$, ומקשר זה נקבל ש-$\alpha_2 > \alpha_1$ וזאת בגלל ש-$\cos\alpha$ היא פונקציה יורדת עבור הזוויות שבשאלה $(0 < \alpha < 90)$.

ג. מרחק מישור הסיבוב של כדור 1 מהקצה העליון של המוט (שסומן ב-h_1) נתון על ידי (ראה תרשים בשאלה):

$$h_1 = \ell_1 \cos\alpha_1$$

נציב את $\cos\alpha_1$ ממשוואה 3 ונקבל:

$$h_1 = \ell_1 \left(\frac{g}{\omega^2 \ell_1} \right) = \frac{g}{\omega^2}$$

ובאותה גישה נקבל:

$$h_2 = \ell_2 \cos\alpha_2 = \ell_2 \frac{g}{\omega^2 \ell_2} = \frac{g}{\omega^2}$$

משתי המשוואות האחרונות מקבלים ש-$h_1 = h_2$. כלומר שני הכדורים נעים באותו מישור סיבוב.

ד.

(1) מאחר ומתקיים $\Sigma F = ma$, ומאחר ולשני הכדורים יש מסה זהה, נקבל שהכוח השקול הגדול יותר פועל על הכדור שתאוצתו הצנטריפטלית גדולה יותר. מתקיים:

$$a_1 = \omega^2 r_1, \ a_2 = \omega^2 r_2$$

בגלל ש-$r_2 > r_1$ נקבל ש-$a_2 > a_1$ ולכן $(\Sigma F)_2 > (\Sigma F)_1$.

(2) מתקיים:

$$T_1 = \frac{m_1 g}{\cos\alpha_1}, \quad T_2 = \frac{m_2 g}{\cos\alpha_2}$$

מתקיים: $m_1 = m_2$, ובגלל ש-$\alpha_2 > \alpha_1$ (ראה סעיף א), נקבל $\cos\alpha_2 < \cos\alpha_1$, וכתוצאה מכך נקבל: $T_2 > T_1$.

ה. מהסעיף הקודם נקבל:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{m_2 g}{\cos\alpha_2} \times \frac{\cos\alpha_1}{m_1 g} =$$

$$= \frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_2} = \frac{h/\ell_1}{h/\ell_2} = \frac{\ell_2}{\ell_1}$$

ו. המהירות הזוויתית המינימלית האפשרית היא המהירות שעבורה מתקיים $\alpha = 0$.

ממשוואה 3 בסעיף א' נקבל שכאשר $\alpha = 0$:

$$\cos 0 = \frac{g}{\omega_{min}^2 \ell} \Rightarrow \omega_{min} = \sqrt{g/\ell}$$

לכן, על מנת שתיווצר זווית (שונה מאפס) בין החוט הראשון והמוט צריך להתקיים:

$$\omega > \omega_1 = \sqrt{g/\ell_1}$$

ועל מנת שתיווצר זווית בין החוט השני והמוט צריך להתקיים:

$$\omega > \omega_2 = \sqrt{g/\ell_2}$$

מתקיים $\omega_2 < \omega_1$. לכן על מנת שתיווצר זווית בין שני החוטים והאנך צריך להתקיים $\omega > \omega_1 = \sqrt{g/\ell_1}$.

פתרון שאלה 17\פרק 6

א. שימוש בחוק השני של ניוטון בתנועה המעגלית עבור הגוף 2 נותן:

$$T_2 - T_1 = m_2 \omega^2 \ell_2$$

$$\Rightarrow T_2 = m_2 \omega^2 \ell_2 + T_1 > T_1$$

ב. עבור הגוף 1 מתקיים:

$$T_1 = m_1 \omega^2 R_1 = m_1 \omega^2 (\ell_1 + \ell_2)$$

עבור הגוף 2 מתקיים:

$$T_2 - T_1 = m_2 \omega^2 R_2 = m_2 \omega^2 \ell_2$$

$$\Rightarrow T_2 = m_2 \omega^2 \ell_2 + T_1$$

נציב את T_1 ונקבל:

$$T_2 = m_2\omega^2\ell_2 + m_1\omega^2(\ell_1+\ell_2)$$
$$\Rightarrow T_2 = \omega^2\left[m_2\ell_2 + m_1(\ell_1+\ell_2)\right]$$

ג. מכיוון שמתקיים $T_2 > T_1$, המתיחות בחוט 2 מגיעה לגודל המקסימלי המותר (שהוא 14N) לפני זו שבחוט 1. לכן המהירות הזוויתית המקסימלית האפשרית היא זו שעבורה מתקיים $T_2 = 14\text{N}$.

נציב $T_2 = 14\text{N}$ במשוואה עבור T_2 שהתקבלה בסעיף הקודם ונקבל:

$$T_{2\max} = \omega_{\max}^2\left[m_2\ell_2 + m_1(\ell_1+\ell_2)\right]$$
$$\Rightarrow \omega_{\max} = \sqrt{\frac{T_{\max}}{m_2\ell_2 + m_1(\ell_1+\ell_2)}} =$$
$$= \sqrt{\frac{14}{(0.6)(0.6)+0.2(1)}} = 5\,\text{rad/s}$$

ד. מתקיים:

$$\Sigma F_1 = m_1\omega^2(\ell_1+\ell_2)$$
$$\Sigma F_2 = m_1\omega^2\ell_2$$

מכיוון ש-$m_1 = m_2$ נקבל משתי המשוואות האחרונות: $\Sigma F_1 > \Sigma F_2$.

פתרון שאלה 18\פרק 6

א. אם נניח שהתארכות הקפיץ היא $\Delta\ell$, נקבל מהחוק השני של ניוטון:

$$k\Delta\ell = m\omega^2(\ell_0+\Delta\ell)$$
$$\Rightarrow \Delta\ell = \frac{m\omega^2\ell_0}{k-m\omega^2} =$$
$$= \frac{(0.5)(4)^2(0.3)}{28-0.5(4)^2} = 0.12\,\text{m}$$

לכן רדיוס המסלול הוא: $R = \ell_0 + \Delta\ell = 42\,\text{cm}$

ב. על מנת שהגוף לא יתנתק מהמוט, ההתארכות המקסימלית של הקפיץ צריכה להיות $50\,\text{cm}$. לכן נקבל:

$$k\Delta\ell_{\max} = m\omega^2(\ell_0+\Delta\ell_{\max})$$
$$\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k\Delta\ell_{\max}}{m(\ell_0+\Delta\ell_{\max})}} =$$
$$= \sqrt{\frac{28(0.5)}{0.5(0.8)}} = 5.9\,\text{rad/s}$$

ג.

$$T = m\omega^2\ell = 0.5(4)^2(0.4) = 3.2\,\text{N}$$

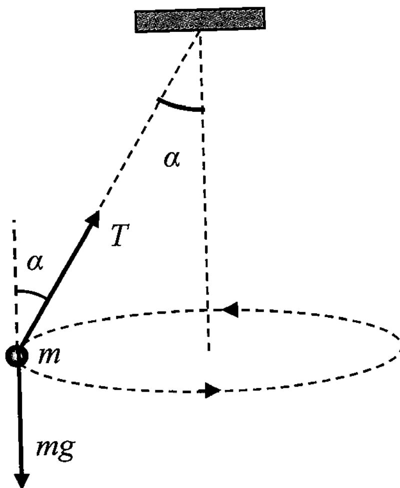
ד. על פי הקשר: $T = m\omega^2\ell$ נקבל שככל שאורך החוט גדל, המתיחות בחוט גדלה.

ה.

$$T_{\max} = m\omega^2\ell_{\max}$$
$$\Rightarrow \ell_{\max} = \frac{T_{\max}}{m\omega^2} = \frac{6}{0.5(4)^2} = 0.75\,\text{m}$$

פתרון שאלה 19\פרק 6

א. על הכדור פועלים הכוחות המתוארים בתרשים הבא:



ב. ממצב שווי המשקל בכיוון אנכי נקבל:

$$T\cos\alpha = mg \quad \Rightarrow T = mg/\cos\alpha$$

ג. בכיוון מרכז הסיבוב מתקיים (החוק השני של ניוטון):

$$T\sin\alpha = m\omega^2 r = m\omega^2(\ell\sin\alpha)$$
$$\Rightarrow T = m\omega^2\ell \quad (2)$$

נציב את T מהסעיף הקודם ונקבל:

$$\frac{mg}{\cos\alpha}=m\omega^2\ell \Rightarrow \omega=\sqrt{\frac{g}{\ell\cos\alpha}}$$

זמן המחזור, T_P, נתון על ידי:

$$T_p=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{\ell\cos\alpha}{g}}$$

ד.

(1) לפי סעיף ב':

$$\frac{T'}{T}=\frac{mg}{\cos\alpha'}\frac{\cos\alpha}{mg}=\frac{h/\ell}{h/\ell'}=\frac{\ell'}{\ell}$$

(2) לפי סעיף ג':

$$\frac{T'_P}{T_P}=2\pi\sqrt{\frac{\ell\cos\alpha}{g}}\times\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell'\cos\alpha'}}=$$

$$=\sqrt{\frac{\ell\cos\alpha}{\ell'\cos\alpha'}}=\sqrt{\frac{h}{h'}}=1$$

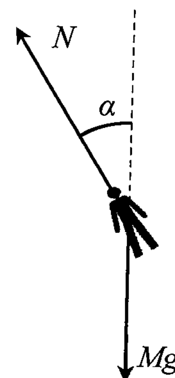
(3) מתקיים:

$$(\Sigma F)'=m\omega^2r'$$
$$(\Sigma F)=m\omega^2r$$

מכיוון ש- $r'>r$ נקבל: $(\Sigma F)'>(\Sigma F)$.

פתרון שאלה 20\פרק 6

א. בתרשים הבא רשומים הכוחות הפועלים על התלמיד:

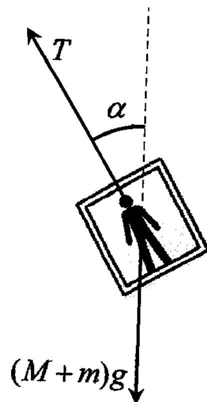


בכיוון אנכי מתקיים:

$$N\cos\alpha=Mg$$

$$\Rightarrow \cos\alpha=\frac{Mg}{N}=\frac{500}{1000}\Rightarrow \alpha=60^\circ$$

ב. נרשום גם את הכוחות הפועלים על התא:



בכיוון אנכי מתקיים:

$$T\cos\alpha=(m+M)g$$

$$\Rightarrow T=\frac{(m+M)g}{\cos\alpha}=\frac{700}{0.5}=1400\,\text{N}$$

ג. כתוצאה מהתנועה המעגלית הקצובה, יש לתלמיד תאוצה בכיוון מרכז המעגל. תאוצה זו נתונה על ידי:

$$a_r=\frac{\Sigma F_r}{M}=\frac{N\sin\alpha}{M}=\frac{1000\sin 60}{50}=$$
$$=17.32\,\text{m/s}^2$$

ד. מכתיבת החוק השני של ניוטון עבור התא נקבל:

$$T\sin\alpha=(m+M)\omega^2R$$

$$\Rightarrow R=\frac{T\sin\alpha}{(m+M)\omega^2}=\frac{1400\sin 60}{70(2\pi/4)^2}=7\,\text{m}$$

$$\Rightarrow L=R-\ell\sin 60=7-4\sin 60=3.54\,\text{m}$$

פתרון שאלה 21\פרק 6

א. כאשר הדיסק מסתובב בתדירות קבועה, f, פועל על הגוף במישור הדיסק כוח חיכוך סטטי, f_s, המכוון לכיוון מרכז הסיבוב. על פי החוק השני של ניוטון, כוח זה נתון על ידי:

$$f_s=m(2\pi f)^2r$$

התדירות המקסימלית האפשרית על מנת שהגוף לא יתנתק מהמשטח היא התדירות שעבורה מתקיים: $f_s=f_{s\max}=\mu_s mg$.

לכן משני הקשרים האחרונים נקבל ש:

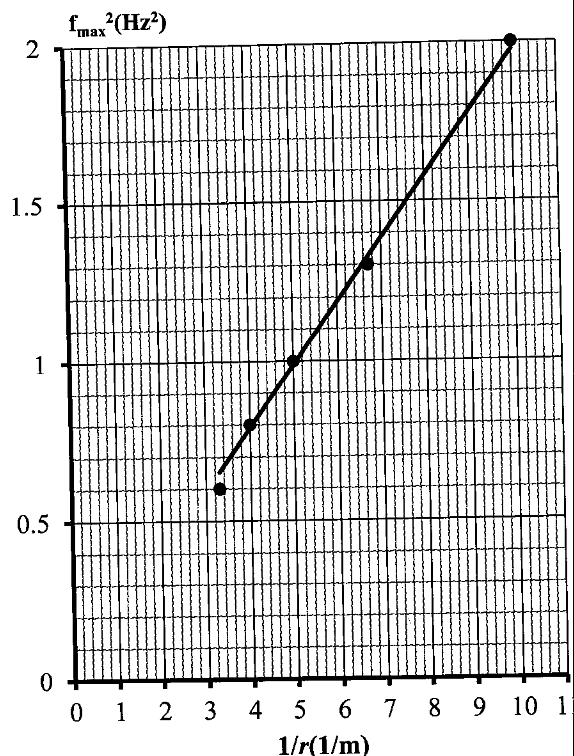
$$m(2\pi f_{\max})^2 r = \mu_s mg$$

$$\Rightarrow f_{\max}^2 = \left(\frac{\mu_s g}{4\pi^2}\right)\frac{1}{r}$$

ב. על מנת לקבל גרף לינארי יש לשרטט את $f_{\max}^2$ כפונקציה של $1/r$. לשם כך נכין קודם טבלה המתארת את $f_{\max}^2$ כפונקציה של $1/r$:

$f_{\max}^2(\mathrm{Hz}^2)$	$1/r(1/\mathrm{m})$
2.0	10.0
1.3	6.7
1.0	5.0
0.8	4.4
0.6	3.3

מטבלה זו נקבל את הגרף הבא:



ג. נחשב קודם את שיפוע הגרף. לשם כך נבחר שתי נקודות על קו המגמה, לדוגמה: $(7.6,1.5)$ ו-$(8.6,1.7)$. שיפוע הגרף הוא:

$$\frac{1.7-1.5}{8.6-7.6} = 0.2$$

על פי הקשר מסעיף א, נקבל:

$$\frac{\mu_s g}{4\pi^2} = 0.2 \Rightarrow \mu_s = 0.79$$

ד. האפשרות שהגוף יתנתק מהמסלול המעגלי במקרה זה נובעת מהתאוצה המשיקית. כתוצאה מתאוצה זו פועל על הגוף כוח חיכוך סטטי, f_s, בכיוון המשיק שגודלו:

$$f_s = ma_t$$

על מנת שהגוף לא יחליק על הדיסק במהלך סיבוב הדיסק, כוח החיכוך הסטטי צריך להיות קטן או שווה ל- $f_{s\max}$: $f_s \le f_{s\max}$. מאחר ו- $f_s = ma_t$ ו- $f_{s\max} = \mu_s mg$, נקבל שהתנאי לכך שהגוף לא יחליק מעל הדיסק כתוצאה מתאוצתו המשיקית הוא:

$$ma_t \le \mu_s mg$$

$$\Rightarrow a_t \le \mu_s g$$

$$\Rightarrow a_{t\max} = \mu_s g = 0.79(10) = 7.9\,\mathrm{m/s^2}$$

לכן, בתאוצה משיקית הגדולה מ- $7.9\,\mathrm{m/s^2}$ הגוף מחליק על הדיסק במהלך סיבובו.

פתרון שאלה 22\פרק 6

א. על הכדור פועלים שני כוחות: כוח הכובד mg כלפי מטה והמתיחות בחוט T בכיוון החוט. בכיוון האנכי מתקיים מצב שווי משקל, לכן מתקיים:

$$(1)\quad T\cos\alpha = mg$$

כאשר α היא הזווית בין החוט והאנך. בכיוון מרכז הסיבוב מתקיים החוק השני של ניוטון:

$$(2)\quad T\sin\alpha = m\left(\frac{2\pi}{T_P}\right)^2 R = \frac{4\pi^2 mR}{T_P^2}$$

כאשר T_P הוא זמן המחזור של התנועה המעגלית של הכדור.

נחלק את משוואה 2 במשוואה 1 ונקבל:

$$\tan\alpha = \frac{4\pi^2 R}{T_P^2 g}$$

נציב כעת $\tan\alpha = R/h$ ונקבל:

$$\frac{R}{h} = \frac{4\pi^2 R}{T_P^2 g} \quad \Rightarrow T_P = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$$

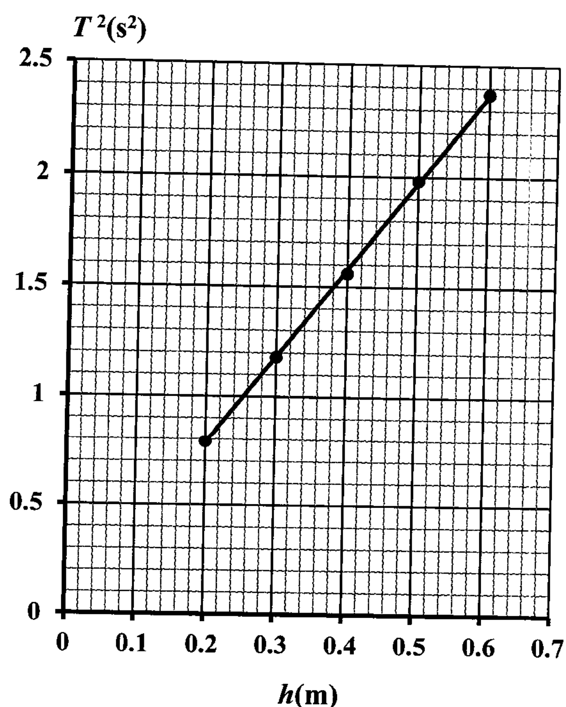
ב. מהקשר האחרון בסעיף הקודם נקבל:

$$T_P^2 = \frac{4\pi^2}{g}h$$

לכן על מנת לקבל גרף לינארי יש לשרטט את T_P^2 כפונקציה של h. בטבלה הבאה מוצגים, בין השאר, הערכים של ריבוע זמן המחזור כפונקציה של הגובה:

$T^2(\text{s}^2)$	$T_P(\text{s})$	$T_5(\text{s})$	$h(\text{m})$
0.79	0.888	4.44	0.2
1.18	1.088	5.44	0.3
1.56	1.256	6.28	0.4
1.98	1.406	7.03	0.5
2.37	1.54	7.7	0.6

בהסתמך על טבלה זו נקבל את הגרף הבא:



ג. נחשב קודם את שיפוע הגרף. לשם כך נבחר שתי נקודות על קו המגמה, לדוגמה: $(0.38,1.5)$ ו-$(0.56,2.2)$. שיפוע הגרף הוא:

$$\frac{2.2-1.5}{0.56-0.38} = 3.9$$

לפי הסעיף הקודם, שיפוע הגרף נתון על ידי הביטוי: $4\pi^2/g$, לכן נקבל:

$$\frac{4\pi^2}{g} = 3.9 \quad \Rightarrow g = 10.12\,\text{m/s}^2$$

ד. השגיאה היחסית במדידת הזמן נתונה על ידי: $\Delta t/t$. כאשר Δt היא השגיאה במדידת הזמן (השגיאה המוחלטת) ו-t הוא הזמן הנמדד. בדרך כלל השגיאה המוחלטת (Δt) במדידת הזמן היא גודל קבוע שתלוי במכשיר המדידה. לכן השגיאה היחסית נעשית קטנה יותר ככל שפרק הזמן הנמדד (t) הוא ארוך יותר. מכיוון שזמן המחזור גדל עבור ערכים גדולים של h, ניתן להסיק שהשגיאה היחסית קטנה יותר עבור ערכים גדולים יותר של h.

פתרון שאלה 23\פרק 6

א. בגלל שהמשקולת נמצאת במצב שווי משקל נקבל: $T = m_2 g = 6\,\text{N}$.

ב. מתקיים:

$$\tan\alpha = \frac{R}{h} = 60/80 \qquad \Rightarrow \alpha = 36.9^\circ$$

ג. בכיוון אנכי מתקיים עבור המכונית:

$$N + T\cos\alpha = m_1 g$$
$$\Rightarrow N = 8 - 6\cos 36.9 = 3.2\,\text{N}$$

המכונית מפעילה על המשטח כוח שווה בגודלו ל-N ומנוגד לו בכיוון.

ד. אם נניח שעל המכונית פועל כוח חיכוך סטטי f_s בכיוון רדיאלי אל מרכז המעגל, על פי החוק השני של ניוטון מתקיים:

$$\Rightarrow 6\sin 36.9 + f_s = 0.8\frac{1.5^2}{0.6}$$
$$\Rightarrow f_s = -0.6\,\text{N}$$

$$\Sigma F_r = m_1 \frac{v^2}{R}$$

$$\Rightarrow T\sin\alpha + f_s = m_1\frac{v^2}{R}$$

החיכוך הסטטי שהתקבל שלילי, כלומר כיוונו מנוגד לכיוון שהנחנו בפתרון. מכיוון שהנחנו שכיוון החיכוך הסטטי הוא רדיאלי "פנימה", נקבל שכיוון החיכוך הסטטי הפועל על המכונית הוא רדיאלי החוצה **וגודלו** $0.6\,N$.

ה. מקדם החיכוך הסטטי הקטן ביותר על מנת שהמכונית לא תחליק פנימה הוא זה המקיים:

$$f_s = f_{s\max}$$
$$f_s = \mu_{s\min} N$$
$$\Rightarrow 0.6 = \mu_{s\min}(3.2) \ \Rightarrow \mu_{s\min} = 0.19$$

ו. כעת צריך להתקיים בכיוון רדיאלי:

$$T\sin\alpha = m_1\frac{v^2}{R}$$

$$\Rightarrow 6\sin 36.9 = 0.8\frac{v^2}{0.6} \quad \Rightarrow v = 1.64\,m/s$$

ז. המהירות הגדולה ביותר (v_{max}) המותרת על מנת שהמכונית לא תחליק בכיוון רדיאלי החוצה, היא המהירות שעבורה פועל $f_{s\max}$ בכיוון רדיאלי פנימה. במקרה זה:

$$T\sin\alpha + f_{s\max} = m_1\frac{v_{max}^2}{R}$$

$$\Rightarrow T\sin\alpha + \mu_s N = m_1\frac{v_{max}^2}{R}$$

$$\Rightarrow 6\sin 36.9 + 0.6(3.2) = 0.8\frac{v_{max}^2}{0.6}$$

$$\Rightarrow v_{max} = 2\,m/s$$

המהירות הקטנה ביותר (v_{min}) האפשרית על מנת שהמכונית לא תחליק בכיוון רדיאלי פנימה, היא המהירות שעבורה פועל $f_{s\max}$ בכיוון רדיאלי החוצה. במקרה זה מתקיים:

$$T\sin\alpha - f_{s\max} = m_1\frac{v_{min}^2}{R}$$

$$\Rightarrow T\sin\alpha - \mu_s N = m_1\frac{v_{min}^2}{R}$$

$$\Rightarrow 6\sin 36.9 - 0.6(3.2) = 0.8\frac{v_{min}^2}{0.6}$$

$$\Rightarrow v_{min} = 1.12\,m/s$$

פתרון שאלה 24\פרק 6

א. מתקיים: $\omega = v/R$. מאחר ו-v זהה לשתי המכוניות, ω יהיה גדול יותר עבור המכונית שלה רדיוס הסיבוב הקטן יותר, כלומר עבור המכונית במסלול הפנימי, 1. מתקיים:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v/R_1}{v/R_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

ב. על מנת שהמכונית תנוע במסלול המעגלי, צריך לפעול עליה כוח חיכוך סטטי בכיוון מרכז הסיבוב, הנתון על יד:

$$f_s = m\frac{v^2}{R}$$

ההסתברות להחלקה כתוצאה מהתנועה המעגלית גדולה יותר למכונית שלה נדרש חיכוך סטטי f_s גדול יותר בכיוון רדיאלי, כי במקרה זה החיכוך הנדרש עלול להיות גדול מ-$f_{s\max}$. על פי הביטוי הנ"ל עבור f_s, מתברר שהמכונית שלה R קטן יותר, החיכוך f_s הוא גדול יותר. מכאן שלמכונית 1 (הפנימית) יש הסתברות גבוהה יותר להחלקה מאשר המכונית (2).

ג. על פי הסעיף הקודם, אם מכונית 1 אינה מחליקה, אזי גם מכונית 2 לא תחליק. התנאי שמכונית 1 לא תחליק הוא שיתקיים:

$$f_s = m\frac{v^2}{R_1} \le f_{s\max} = \mu_s mg$$

$$\Rightarrow \mu_s \ge \frac{v^2}{R_1 g} \quad \Rightarrow (\mu_s)_{\min} = \frac{v^2}{R_1 g}$$

ד. על מנת שיפעל על שתי המכוניות אותו חיכוך סטטי לכיוון מרכז המעגל, צריך להתקיים:

$$m\frac{v_2^2}{R_2}=m\frac{v_1^2}{R_1}$$

כאשר v_2 היא מהירות המכונית 2, ו- v_1 היא מהירות המכונית 1. מהקשר האחרון נקבל:

$$\frac{v_2}{v_1}=\sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$$

פתרון שאלה 25\פרק 6

א. בשל היות המשקולת בשווי משקל נקבל:

$.T=m_2g$

ב. מאחר וגם הכדור בשווי משקל בכיוון האנכי מתקבל:

$$T\cos\alpha=m_1g$$

$$\Rightarrow\cos\alpha=\frac{m_1g}{T}=\frac{m_1g}{m_2g}=\frac{m_1}{m_2}$$

שים לב! הזווית α שעבורה המשקולת נמצאת בשיווי משקל היא גודל קבוע במערכת זו, ואינה תלויה בתדירות הסיבוב או באורך הקטע AB של החוט.

ג. על מנת לקבל פתרון עבור המשוואה בסעיף הקודם, צריך להתקיים $m_1/m_2<1$. מתנאי זה נקבל: $m_2>m_1$.

ד. בכיוון רדיאלי "פנימה", מתקיים החוק השני של ניוטון עבור הכדור:

$$T\sin\alpha=m_1\omega^2R=m_1\omega^2(\ell\sin\alpha)$$

$$\Rightarrow m_2g\sin\alpha=m_1(2\pi f_0)^2(\ell\sin\alpha)$$

$$\Rightarrow f_0=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}\left(\frac{m_2}{m_1}\right)}$$

ה. מהקשר בסעיף הקודם נקבל שהתדירות שעבורה המשקולת במצבה החדש נמצאת במצב שווי משקל, היא:

$$f'=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell'}\left(\frac{m_2}{m_1}\right)}$$

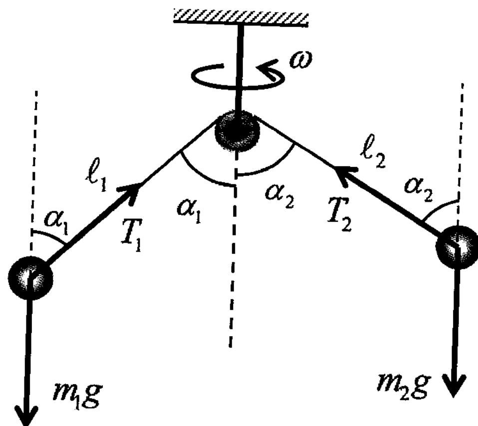
ומכיוון שמתקיים: $f'=2f_0$ נקבל:

$$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell'}\left(\frac{m_2}{m_1}\right)}=2\times\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}\left(\frac{m_2}{m_1}\right)}$$

$$\Rightarrow\ell'=\ell/4$$

פתרון שאלה 26\פרק 6

א. בתרשים הבא מתוארים הכוחות הפועלים על הכדורים :



נשתמש בחוק השני של ניוטון עבור כל אחד משני הכדורים בתנועתם המעגלית:

$$T_2\sin\alpha_2=m_2\omega^2(\ell_2\sin\alpha_2)\quad\Rightarrow T_2=m_2\omega^2\ell_2$$

$$T_1\sin\alpha_1=m_1\omega^2(\ell_1\sin\alpha_1)\quad\Rightarrow T_1=m_1\omega^2\ell_1$$

מכיוון שמתקיים $T_2=T_1$ (T_2 ו- T_1 הן אותיות המייצגות את המתיחות באותו חוט), נקבל משני הקשרים האחרונים:

$$m_2\omega^2\ell_2=m_1\omega^2\ell_1\quad\Rightarrow\frac{\ell_2}{\ell_1}=\frac{m_1}{m_2}$$

ב. ממצב שווי המשקל בכיוון אנכי עבור כל אחד משני הכדורים, נקבל:

(1) $T_2\cos\alpha_2=m_2g$

(2) $T_1\cos\alpha_1=m_1g$

נחלק את משוואה (1) במשוואה (2) ונשתמש בכך ש- $T_1=T_2$, ונקבל:

$$\frac{\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1}=\frac{m_2}{m_1}$$

ג.

$$h_1=\ell_1\cos\alpha_1$$
$$h_2=\ell_2\cos\alpha_2$$
$$\Rightarrow\frac{h_2}{h_1}=\frac{\ell_2}{\ell_1}\frac{\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1}$$

נציב בקשר האחרון את היחס ℓ_2/ℓ_1 מסעיף א', ואת היחס $\cos\alpha_2/\cos\alpha_1$ מסעיף ב', ונקבל:

$$\frac{h_2}{h_1}=\frac{m_1}{m_2}\frac{m_2}{m_1}=1$$

כלומר שני הכדורים מסתובבים באותו מישור.

ד.

(1) מתקיים:

$$(3)\quad \ell_1+\ell_2=120\,\text{cm}$$

ולפי סעיף א' מתקיים: $\ell_1/\ell_2=m_2/m_1=2$.

ממשוואה זו נקבל: $\ell_1=2\ell_2$. נציב קשר זה במשוואה (3) ונקבל:

$$2\ell_2+\ell_2=120\,\text{cm}$$
$$\Rightarrow\ell_2=40\,\text{cm}$$
$$\Rightarrow\ell_1=80\,\text{cm}$$

(2)

$$T_1=m_1\omega^2\ell_1=0.2\times8^2\times0.8=10.24\,\text{N}$$
$$T_2=m_2\omega^2\ell_1=0.4\times8^2\times0.4=10.24\,\text{N}$$

(3)

$$\cos\alpha_2=\frac{m_2g}{T_2}=\frac{4}{10.24}\Rightarrow\alpha_2=67^\circ$$
$$\cos\alpha_1=\frac{m_1g}{T_1}=\frac{2}{10.24}\Rightarrow\alpha_1=78.73^\circ$$

פתרון שאלה 27\פרק 6

א. לפי החוק השני של ניוטון, כיוון הכוח השקול הפועל על הכדור בנקודה A הוא בכיוון תאוצת הגוף בנקודה זו, כלומר בכיוון ציר הסיבוב, O. גודל כוח זה נתון על יד:

$$\Sigma F_A=ma=m\frac{v^2}{R}=0.2\frac{9^2}{0.6}=27\,\text{N}$$

מצד שני מתקיים:

$$\Sigma F_A=T_A-mg$$

לכן נקבל:

$$T_A-2=27\ \Rightarrow T_A=29\,\text{N}$$

ב. בנקודה C כיוון הכוח השקול הוא בכיוון התאוצה בנקודה זו, כלומר כלפי מרכז התנועה המעגלית (כלפי מטה). כוח זה נתון על ידי:

$$\Sigma F_C=mv_C^2/R$$

על מנת לחשב כוח זה, נצטרך לחשב את v_C על ידי שימוש בחוק שימור האנרגיה בין הנקודות A ו- C:

$$\tfrac{1}{2}mv_A^2+mgh_A=\tfrac{1}{2}mv_C^2+mgh_C$$
$$\tfrac{1}{2}(9)^2+0=\tfrac{1}{2}v_C^2+(10)(1.2)$$
$$\Rightarrow v_C=\sqrt{57}=7.55\,\text{m/s}$$

מכאן נקבל:

$$\Sigma F_C=0.2(57)/0.6=19\,\text{N}$$

בנקודה B:

נחשב קודם את מהירות הכדור בנקודה זו:

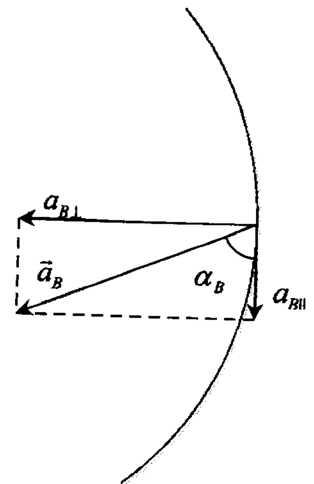
$$\tfrac{1}{2}mv_A^2+mgh_A=\tfrac{1}{2}mv_B^2+mgh_B$$
$$\tfrac{1}{2}(9)^2+0=\tfrac{1}{2}v_B^2+(10)(0.6)$$
$$\Rightarrow v_B=\sqrt{69}$$

בנקודה זו יש לתאוצה שני רכיבים, האחד בכיוון המרכז:

$$a_{B\perp}=\frac{v_B^2}{R}=\frac{69}{0.6}=115\,\text{m/s}^2$$

והאחר:

$a_{B\parallel} = -g = -10\,\text{m/s}$



מתקיים:

$a_B = \sqrt{115^2 + 10^2} = 115.4\,\text{m/s}^2$

$\tan\alpha_B = 115/10$

$\Rightarrow \alpha_B = 85°$

לכן:

$\Sigma F_B = ma_B = 0.2(42.6)\text{=}8.52\text{N}$

בכיוון התאוצה $\vec{a}_B$.

ג. נחשב קודם את מהירות הכדור בנקודה E:

$\frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_E^2 + mgh_E$

$\frac{1}{2}(9)^2 + 0 = \frac{1}{2}v_E^2 + (10)(0.3)$

$\Rightarrow v_E = \sqrt{75}\,\text{m/s}$

בנקודה E יש לתאוצה שני רכיבים:

$a_{E\perp} = \frac{v_E^2}{R} = \frac{75}{0.6} = 125\,\text{m/s}^2$

$a_{E\parallel} = \frac{\Sigma F_\parallel}{m} = \frac{mg\sin 60}{m} = 5\,\text{m/s}^2$

לכן התאוצה השקולה בנקודה E היא:

$a_E = \sqrt{125^2 + 5^2} = 125.1\,\text{m/s}^2$

$\tan\alpha_E = 125/5$

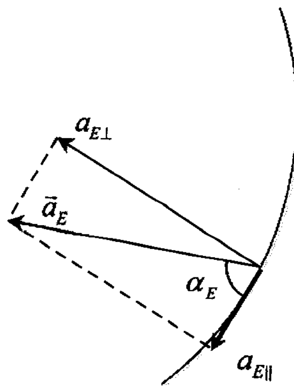
$\Rightarrow \alpha_E = 87.7°$

מתקיים:

$\Sigma F_E = ma_E = 0.2 \times 125.1 = 25.02\,\text{NN}$

$\alpha_E = 87.7°$

כפי שניתן לראות בתרשים:



ד.

(1) לאחר הינתקות הכדור בנקודה A, תנועתו היא זריקה אופקית. לכן בכיוון אנכי מתקיים:

$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2$

נבחר את הכיוון החיובי של ציר y כלפי מטה, ואת $y=0$ בנקודה A ונקבל:

$1.2 = 0 + 0 + \frac{1}{2}(10)t^2$

$\Rightarrow t = 0.49\,\text{s}$

(2) ההעתק האופקי:

$x = vt = 9 \times 0.49 = 4.41\,\text{m}$